

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

Vliv procesních kapalin firmy PARAMO, a. s. na velikost řezných sil při čelním frézování

Influence of procedural liquids by PARAMO company a.s. to detect value of forces in front milling process

KOM - 1234

Tomáš Bezdíček

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Ing. Jaroslav Votoček

Počet stran: 53

Počet příloh: -

Počet tabulek: 23

Počet obrázků: 15

Počet diagramů: 14

24.5.2013

**Vliv procesních kapalin firmy PARAMO, a. s. na velikost řezných sil při
čelním frézování**

ANOTACE:

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením vlivu procesního médium na velikost složek sil F_c , F_f a F_p při čelním frézování, za různých řezných podmínek. Experimenty byly realizovány při frézování oceli 17 240 a oceli 14 220. Všechny měření byly uskutečněny na vertikální frézce FA 4AV s použitím frézy 80B05R-S90SP12D opatřené VBD SPET 1204 AD SN.

Výsledky této práce dokazují převážně pozitivní vliv procesních kapalin na složky řezných sil při čelním frézování. Bylo také zjištěno, že při zvýšení řezné rychlosti v_c , se snížil řezný odpor materiálu pravděpodobně vlivem vyšší teploty v místě řezu a tím se snížila hodnota řezné síly F_c . Naopak při zvýšení posuvu na zub f_z a hloubky záběru a_p , měla hodnota řezné síly F_c vzrůstající charakter vlivem většího průřezu třísky materiálu.

Řešení této bakalářské práce souvisí s projektem TAČR TA2-1332 s názvem: Ekologické kapaliny nové generace

**Influence of procedural liquids by PARAMO company a.s. to detect value of forces in
front milling process**

ANNOTATION:

This bachelor work deals with evaluating of influence procedural of enviroment to value of cutting forces F_c , F_f a F_p , in case of front milling and of using differnet cutting conditions. Measuring was realized on materials of steel type 17 240 and 14 220.3. All of experiments was made on vertical milling machine FA 4AV which working with tool 80B05R-S90SP12D with VBD under mark SPET 1204 AD SN.

Results of this work showing largely positive effect of procedural liquid on units of cutting forces. Also it was detected, that in increase of cutting speed v_c , cutting resistance of material was decreased move by influence of higher temperature in cut area. Conversely, in case, when horizontal value of move to F_z distance and value of cutting force F_c had been growing, character by influence of digger of cutting cross-section of the material.

Solution of this this work is with deal of TAČR TA2-1332 project named: New generation economic liquids.

Klíčová slova: frézování, procesní kapalina, řezné síly

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Archivní označ. zprávy:

Dokončeno: 2013

Počet stran: 53

Počet příloh: -

Počet obrázků: 15

Počet tabulek: 23

Počet diagramů: 14

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 24.5.2013

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady, předmětné připomínky a především trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Prof. Ing. Alexey Popovovi DrSc., za užitečné rady a vedení v průběhu provedení této práce. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Jaroslavu Votočkovi a Ing. Miloslavu Ledvinovi za technickou spolupráci při průběhu experimentů. Dále bych chtěl poděkovat panu Bc. Jaroslavu Šreflovi za vytvoření programu pro vyhodnocení výsledků, panu doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, CSc za kalibraci a přípravu měřicího zařízení a nakonec svému otci panu Jiřímu Bezdíčkovi za zhotovení chladicí sestavy.

Mé poděkování patří také pracovníkům Katedry obrábění a montáže za jejich ochotu a vstřícnost v celém průběhu vypracování této bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval své rodině za podporu a trpělivost, která mi byla poskytována během celého mého studia.

Podpis:

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD	10
2 FRÉZOVÁNÍ.....	11
2.1 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ	11
2.1.1 Frézování čelní a válcové.....	11
2.1.2 Frézování sousledné a nesousledné	12
3 PROCESNÍ KAPALINY	13
3.1 VÝZNAM PROCESNÍCH KAPALIN	13
3.2 POŽADAVKY NA PROCESNÍ KAPALINY	13
3.2.1 Chladicí účinek	13
3.2.2 Mazací účinek.....	14
3.2.3 Čistící účinek	14
3.2.4 Provozní stálost.....	14
3.2.5 Ochranný účinek.....	15
3.2.6 Zdravotní nezávadnost.....	15
3.2.7 Nízké náklady	15
3.3 ROZDĚLENÍ PROCESNÍCH KAPALIN	15
3.3.1 Vodné roztoky	15
3.3.2 Emulzní kapaliny	16
3.3.3 Řezné oleje	16
3.3.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny.....	16
4 ZPŮSOBY STANOVENÍ SLOŽEK SIL PŘI OBRÁBĚNÍ	17
4.1 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA SLOŽKY SIL	18
4.2 ZPŮSOBY STANOVENÍ SLOŽEK SIL	19
4.2.1 Stanovení složek sil výpočtem.....	19
4.2.2 Stanovení složek sil měřením	20
4.2.3 Přímé měření složek sil.....	20
4.2.4 Rozdělení dynamometrů.....	20
Druhy snímačů užívaných v konstrukci dynamometrů	20
Deformační členy pro měření	20
Piezoelektrické dynamometry	20

5	TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE, NÁSTROJE MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ A CHLADICÍ SOUSTAVY	22
5.1	OBRÁBĚCÍ STROJ	22
5.2	OBRÁBĚCÍ NÁSTROJ A VBD	23
5.3	MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ – PIEZOELEKTRICKÝ DYNAMOMETR KISTLER.....	24
5.4	RUČNÍ REFRAKTOMETR BRIX 0-18 % ATC.....	25
5.5	CHLADICÍ SESTAVA.....	25
6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ŘEŠENÍ	27
6.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	27
6.2	POUŽITÉ PROCESNÍ MÉDIUM	27
	Příprava procesních kapalin.....	27
6.3	METODIKA EXPERIMENTŮ	28
6.3.1	Příprava experimentů.....	28
6.3.2	Měření sil.....	31
7	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	33
7.1	HODNOCENÍ VLIVU PROCESNÍCH MÉDIÍ NA SLOŽKY SIL PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ	33
7.1.1	Experiment 1.....	33
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	33
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	34
7.1.2	Experiment 2.....	35
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	35
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	36
7.1.3	Experiment 3.....	37
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	37
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	38
7.1.4	Experiment 4.....	39
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	39
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	40
7.2	HODNOCENÍ VLIVU ŘEZNÝCH PODMÍNEK PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ NA SLOŽKY SIL PŘI POUŽITÍ PROCESNÍCH MÉDIÍ	41
7.2.1	Porovnání experimentu 1 s experimentem 2	41
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	41
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	42

7.2.2	Porovnání experimentu 1 s experimentem 3	43
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	44
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	44
7.2.3	Porovnání experimentu 1 s experimentem 4	45
	Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17	46
	Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14	47
8	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

F	[N]	výsledná síla
F_c	[N]	složka řezné síly
F_f	[N]	složka posuvové síly
F_p	[N]	složka příusuvové síly
a_p	[mm]	hloubka záběru řezného nástroje
n	[s ⁻¹]	otáčky vřetena
f_z	[mm]	posuv na zub
v_c	[m/min]	řezná rychlost
v_f	[m/min]	posuvová rychlost
v_p	[m/min]	příusuvová rychlost
x,y,z	[mm]	osy souřadného systému x,y,z
Q_v	[l.min ⁻¹]	průtočné množství
t	[°C]	teplota
M_k	[Nm]	krouticí moment
P_{ef}	[W]	efektivní výkon
ex.1	[-]	experiment 1
ex.2	[-]	experiment 2
ex.3	[-]	experiment 3
ex.4	[-]	experiment 4
S-N-O-P	[-]	stroj- nástroj-obrobek-přípravek
VBD	[-]	výměnná břitová destička

1 ÚVOD

Frézování se používá především pro obrábění rovinných a tvarových ploch součástí. Jedná se o technologii, kterou můžeme dosáhnout vysoké přesnosti a jakosti obrobené plochy.

Během procesu frézování vznikají řezné síly, které mají různou velikost a směr. Proti těmto silám působí odpor obráběné součásti, které je závislý především na materiálu obrobku. Výsledná řezná síla označována jako F , která je součástí tohoto řezného procesu se dá rozložit v prostorovém ortogonálním souřadném systému x, y, z do složek sil F_f, F_c, F_p . Hlavními faktory ovlivňující velikosti těchto složek sil je materiál obrobku, nástroj a jeho řezné úhly, řezné podmínky a další. Znalost velikosti složek sil při frézování a hlavně jejich maximální hodnoty má význam především při návrhu a konstrukci nástroje, při zjištění velikosti upínacích sil obrobku, při zjištění namáhání stroje a dále.

Bakalářská práce se zabývá vlivem procesního média na maximální velikosti složek sil při procesu čelního frézování za použití různých řezných podmínek. Pro experiment byly použity dva obráběcí materiály z ocele třídy 17 a 14. V rámci řešení bakalářské práce byly hodnoceny nově vyvíjené procesní kapaliny s označením PARAMO ESOK 1.0D, PARAMO ESOK 1.0E, PARAMO ESOK 1.0F, PARAMO ESOK 1.1B, PARAMO ESOK 1.1D. Dále bylo hodnoceno, jak na proces čelního frézování působí procesní médium voda a okolní vzduch.

Cílem bakalářské práce je:

- navrhnutí optimálních řezných podmínek a souboru experimentů pro posouzení vlivu procesních médií na složky sil při čelním frézování,
- hodnocení vlivu procesních médií na velikost sil,
- hodnocení vlivu řezných podmínek na velikost složek sil.

Tato práce souvisí s výzkumným projektem, který je na Katedře obrábění a montáže TU v Liberci realizován pro firmu PARAMO, a.s. Jedná se o projekt TAČR TA2-1332 s názvem: Ekologické kapaliny nové generace.

2 FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří mezi metody třískového obrábění rovinných a tvarových ploch. Třísky vznikají při frézování vtlačováním břitů nástroje – frézy, do materiálu obrobku. Fréza je několikabřítý nástroj. Každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky materiálu [1]. Břity frézy jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo tvarové ploše, u čelních fréz také na čelní ploše. Frézy se rozdělují do jednotlivých skupin podle různých hledisek a to: nástrojového materiálu břitů, tvaru zubu, geometrického tvaru a další [2].

Obvodová rychlost, jakou se fréza pohybuje, se nazývá řeznou rychlostí. Síla, která vzniká při vtlačování břitu do materiálu, výslednou silou. Při frézování se nástroj otáčí kolem své osy a obrobek, který je upnut na stole obráběcího stroje se posouvá směrem k nástroji. Hlavní řezný pohyb tedy vykonává nástroj [2]. Řezný proces je přerušovaný, což způsobuje kolísání řezné síly a teploty břitu při frézování [3]. V okamžiku vniknutí nástroje do materiálu je břit vystaven rázu, při kterém mohou vznikat kmity. Konstrukce stroje musí být dostatečně tuhá, aby nebyly přenášeny kmity do soustavy S-N-O-P.

Stroj, kterým se obrábí, se nazývá frézka. Frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů a velikostí. Zpravidla se člení do čtyř základních skupin a to: konzolové, stolové, rovinné a speciální [4].

2.1 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ

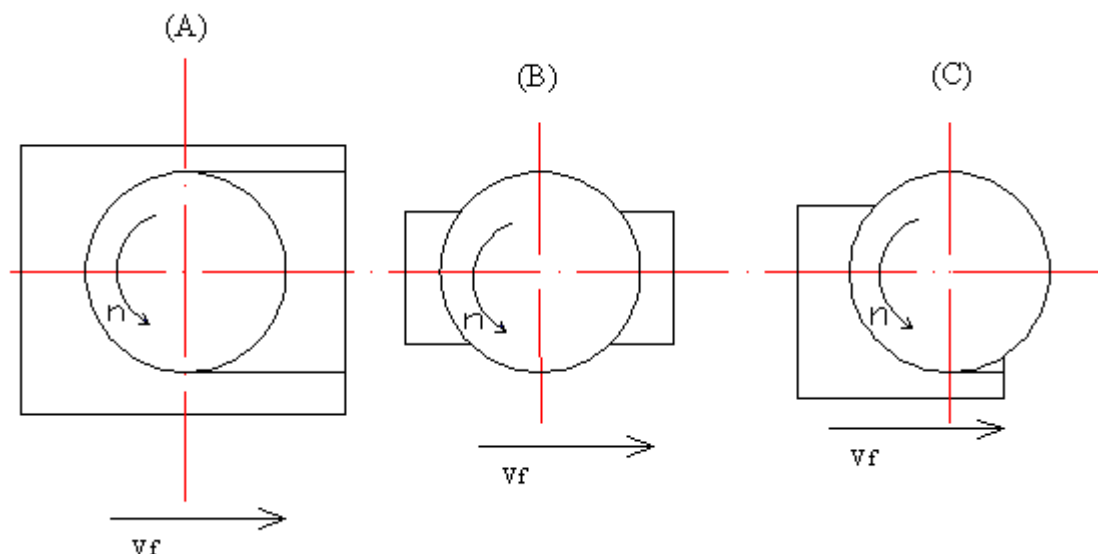
Podle způsobu záběru frézy do materiálu obrobku rozlišujeme dva základní způsoby frézování, válcové a čelní. Od těchto základních způsobů se odvozují další způsoby a to: frézování okružní a planetové [2].

2.1.1 Frézování čelní a válcové

Při čelním frézováním odebírá fréza materiál, zároveň na čele i částečně po obvodu tělesa frézy. Osa nástroje je kolmá k obráběné ploše. Tloušťka třísky se zvětšuje ke středu odřezávané vrstvy a zmenšuje se v místě vstupu a výstupu zubů frézy do obrobku nebo naopak. Počáteční a konečná tloušťka obráběné vrstvy závisí na poměru šířky obrobku k průměru frézy a také na symetričnosti polohy osy frézy vůči obrobku (obr. 1) Čelní frézování dělíme podle symetričnosti: úplné symetrické (obr. 1A), neúplné symetrické (obr. 1B) a neúplné nesymetrické (obr. 1C) [1].

Při válcovém frézování se používají válcové a tvarové frézy. Zuby frézy jsou tvořeny na obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje kolmo na osu frézy. Obrobená

plocha, která je rovnoběžná s osou otáčení frézy, závisí na smyslu rotace nástroje ke směru posuvu obrobku. Z toho předpokladu rozeznáváme frézování sousledné a nesousledné.

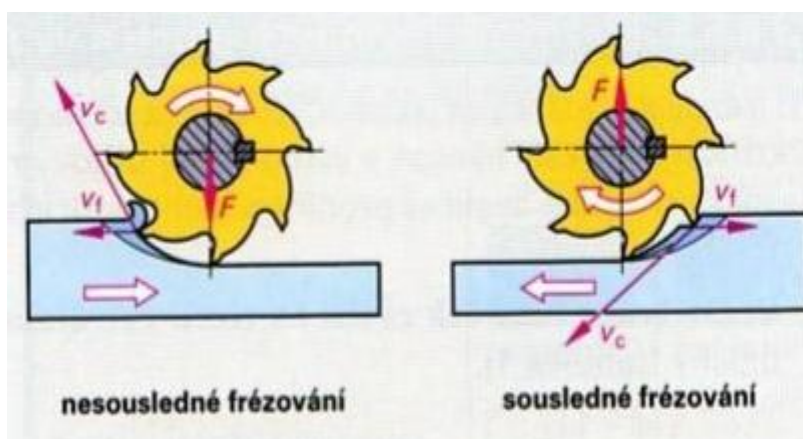


Obr. 1 Frézování úplné symetrické (A), neúplné symetrické (B), neúplné nesymetrické (C) [5]

2.1.2 Frézování sousledné a nesousledné

Při frézování sousledném se fréza otáčí ve stejném smyslu se směrem posuvu. Tloušťka třísky se mění od maxima a zmenšuje se při výběhu zubu z materiálu k nule. Výsledná řezná síla tedy směřuje do obrobku, což umožňuje zmenšit upínací síly.

Při frézování nesousledném se fréza otáčí v opačném smyslu se směrem posuvu. Každý břit zubu frézy začíná odebírat materiál od minimální tloušťky, která se postupně zvětšuje až do určitého maxima. Upínací síly jsou větší než u frézování sousledného, protože výsledná řezná síla směřuje ven z obrobku a tím má snahu obrobek vytrhnout z upnutí [2].



Obr. 2 Frézování nesousledné a sousledné [6]

3 PROCESNÍ KAPALINY

3.1 VÝZNAM PROCESNÍCH KAPALIN

Při obrábění houževnatých kovů se za určitých řezných podmínek vytvoří na čele nástroje zpevněná vrstva kovu, která se navažuje v okolí ostří nástroje. Jde o takzvaný nárůstek, který má negativní vliv na obrábění. Nárůstek se vytváří periodicky a výrazně mění podmínky obrábění. Nárůstek poškozuje řezné plochy nástroje, zhoršuje drsnost povrchu a má vliv na přesnost obráběné součásti. Jak už bylo řečeno, nárůstek vzniká za určitých řezných podmínek, kterým je při obrábění dobré se vyhnout. Máme v podstatě dvě možnosti, buď se zvýší řezná rychlost, nebo se sníží teplota v místě řezu použitím procesní kapaliny.

Plastické deformace probíhají při tvoření třísky a pronikají také do materiálu pod obrobený povrch. Zde spolu s teplotou dochází ke změnám krystalické struktury povrchových vrstev obráběného materiálu, které vede k povrchovému zpevnění. Velikost tohoto zpevnění závisí na hloubce řezu, velikosti posuvu, řezné rychlosti, geometrii nástroje, na vlastnostech obráběného materiálu i na přívodu procesní kapaliny [7].

Řezný odpor je výsledek odporu materiálu proti porušení soudržnosti, odporu proti deformacím a odporu tření po čele i po hřbetu nástroje. Jedna z důležitých složek řezného odporu je tedy složka tření, která souvisí s pružnými a plastickými deformacemi, vysokou teplotou a tlakem. Na toto tření a tím i na opotřebení má největší vliv mazací schopnosti zprostředkované přívodem procesní kapaliny do místa řezu.

Teplota řezání podstatně ovlivňuje proces obrábění. Vždy působí nepříznivě na průběh opotřebení a na trvanlivost nástroje. Snaha je tedy dosáhnout co nejnižší hodnotu. Přivádí se tedy do místa řezu procesní kapalina a tím se teplota výrazně sníží [7].

3.2 POŽADAVKY NA PROCESNÍ KAPALINY

Z provozního a technologického hlediska se na procesní kapaliny specifikují určité požadavky a to: chladicí účinek, mazací účinek..... nízké náklady [4].

3.2.1 Chladicí účinek

Teplo, které vzniká při procesu obrábění je potřeba z místa řezu odvádět. Tuto schopnost má každá procesní kapalina, jestliže smáčí povrch kovu a existuje tepelný spád mezi povrchem kovu a kapalinou. Při třískovém obrábění tento jev nastává vždy [7].

Chladicí účinek procesní kapaliny bude tedy záviset na: smáčecí schopnosti, výparném teple, rychlosti vypařování za určitých teplot, tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny většího charakteru, tím bude vyšší chladicí účinek procesního prostředí. Další veličinou ovlivňující chladicí účinek je průtokové množství procesní kapaliny [4].

3.2.2 Mazací účinek

Mazacím účinkem se rozumí schopnost procesní kapaliny vytvořit na povrchu kovu tlakovzdornou vrstvičku, která zabraňuje přímému styku kovových povrchů a tím zajišťuje zmenšení tření, které vniká mezi třískou a nástrojem i mezi obrobkem a nástrojem.

Mazací účinek procesní kapaliny má vliv na zmenšení řezných sil, velikosti řezných odporů a množství spotřebované energie. Dochází také k rovnoměrnějšímu rozložení tlaků mezi nástrojem a obrobkem, zlepšení jakosti obrobené plochy, lepším odchodem třísky a ke klidnějšímu chodu stroje. Využití těchto vlastností je hlavně při obrábění na čisto (obrábění ozubených kol, řezání závitů, protahování a další) [7].

Mazací účinek procesního prostředí je závislý na viskozitě a na pevnosti mezní vrstvy. Se zvyšující viskozitou se zhoršuje pronikání procesního media mezi třecí plochy, jeho odvodem tepla a prouděním kapaliny. Viskoznější procesní medium se více udržuje na třískách a tím dochází k výrazným ztrátám [4].

3.2.3 Čistící účinek

Další důležitou vlastností procesních kapalin je odstraňovat třísky a nečistoty z místa řezu. Přebytké třísky mohou poškodit obrobenou plochu. Procesní kapalina má bránit slepování částic, které vznikají při obrábění a usnadňovat jejich usazování [4].

Čistící účinek se využívá téměř při všech výrobních technologiích. Tento účinek je důležitý hlavně u broušení, kde vzniká zanášení a zalepování brusných kotoučů. Dále se používá při řezání závitu a při hlubokém vrtání, kde je potřeba důkladně odplavovat třísky z místa řezu [7].

3.2.4 Provozní stálost

Procesní kapalina má setrvávat v provozu dlouhodobě, aniž by se v průběhu používání měnily její vlastnosti. Čím delší jsou lhůty pro výměnu, tím klesají náklady na náklady procesní kapaliny a tím se zmenší ztráty vzniklé prostojem strojů při výměnách těchto kapalin. Chemické změny nebo rozklad těchto kapalin vzniklé stárnutím vedou ke změnám vlastností, které se obvykle projeví zhoršením některého požadovaného účinku [7].

Provozní stálost procesní kapaliny závisí na její chemické a mechanické čistotě, na teplotě, při které se kapalina začíná odpařovat, na sklonu k pěnivosti a na odolnosti proti chemickému a mechanickému namáhání [4].

3.2.5 Ochranný účinek

Procesní kapalina nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Aby nebylo nutné obrobky mezi operacemi konzervovat a chránily stroje před korozí, proto jsou do procesních kapalin přidávány přísady, které chrání kovy proti nežádoucím účinkům [4].

3.2.6 Zdravotní nezávadnost

Při práci na strojích dochází ke styku pracovníku s procesní kapalinou, proto je důležitá zdravotní nezávadnost těchto kapalin. Nástroj i obrobek, které berou do rukou, jsou částečně pokryty vrstvou kapaliny. Nejvýrazněji však působí metoda rozprašování kapaliny, kterému většinou nezabrání ani ochranné kryty. Rozprášená a odpařená procesní kapalina pronikne na pokožku, i do dýchacích cest [7].

3.2.7 Nízké náklady

Nízké náklady souvisejí se spotřebou procesní kapaliny. Rozborem nákladů je potřeba posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Následuje hodnocení procesního prostředí s ohledem na jeho stálost, spotřebu a výměnu. A nakonec náklady na jeho likvidaci [4].

3.3 ROZDĚLENÍ PROCESNÍCH KAPALIN

Procesní kapaliny můžeme členit na kapaliny s převažujícím chladícím účinkem na kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Dnešní sortiment procesních kapalin má snahu zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladícím účinkem [4]. Můžeme tedy konstatovat, že jsou k dispozici kapaliny s převažujícím chladícím účinkem (vodní báze) a kapaliny s převažujícím účinkem mazacím (olejová báze) [7].

Procesní kapaliny se rozdělují: vodné roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, syntetické kapaliny [4].

3.3.1 Vodné roztoky

Nejlevnější a nejdostupnější kapalinou je voda, která také dobře odvádí teplo z místa řezu. Surová voda však má také hodně nedostatků, pro které ji musíme upravovat, aby se mohla používat jako procesní kapalina.

Její základní závadou je její tvrdost, proto ji musíme změkčovat. Další nedostatky vody je obsah různých solí, které během provozu z vody vypadávají a tvoří na obráběném

povrchu těžko odstranitelné usazeniny, které zanášejí potrubí síta a také zalepují funkční části stroje. Voda vykazuje vysoké povrchové napětí, které má za následek špatné smáčení kovů a odmršťování kapek z horkých ploch [7].

3.3.2 Emulzní kapaliny

Emulze je disperzní soustava dvou vzájemně nerozpustných kapalin, kde jedna tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v druhé kapalině. Většinou se jedná o olej ve vodě.

Pro zlepšení vlastností je třeba použít další složky, tzv. emulgátory, které obalí kapičky oleje adsorpčním povlakem, zabránujícím jejich splnutí [4].

3.3.3 Řezné oleje

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Účelem zušlechtování je potřeba dosáhnout větší tlakové únosnosti, resp. zlepšit mazací vlastnosti oleje. Těchto vlastností docílíme přidáváním přísad, které se rozdělují na mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva.

3.3.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento druh procesních kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Ve většině případů jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky [4].

4 ZPŮSOBY STANOVENÍ SLOŽEK SIL PŘI OBRÁBĚNÍ

Při procesu řezání působí na břit řezného nástroje odporové síly, které brání jeho posunu po dráze dané pracovním posuvem. Tyto síly jsou v rovnováze se silami řezání a výslednicí těchto sil značíme jako sílu F . Mezi zdroje překážek, které brání řeznému procesu, patří především [9]:

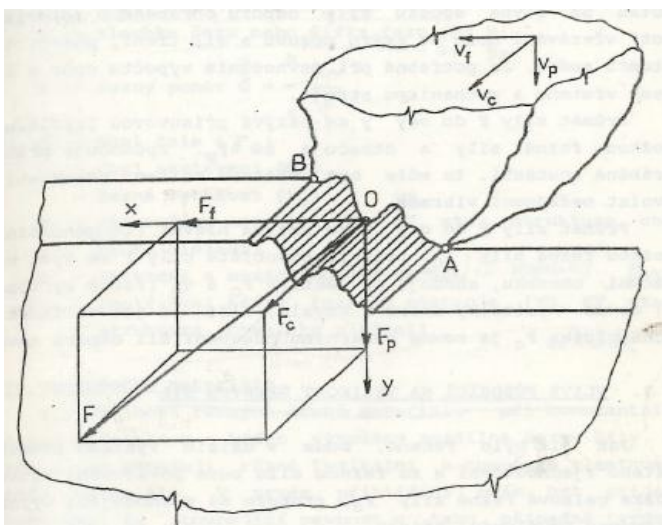
- odpor obráběného materiálu podrobit se plastické deformaci,
- odpor plasticky již deformovaných kovů při porušování v místě lomu,
- odpor již oddělené třísky dodatečné deformaci v ohybu a lomu,
- síly tření na břitu.

Vektor výsledné síly F má v obecném případě v závislosti na komplexu podmínek řezání různou velikost, směr a smysl. Pro usnadnění výpočtů se výsledná řezná síla umísťuje do prostorového ortogonálního souřadného systému x, y, z (obr. 3).

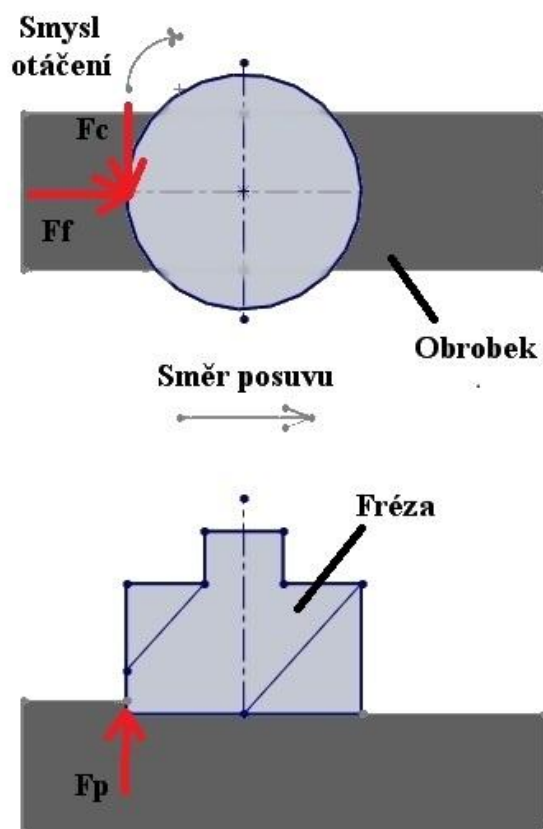
Průmět síly F se nazývá posuvovou složkou řezné síly a označuje se F_f . Tato složka se rovná součtu síly odporu obráběného materiálu proti vřezávání obráběcího nože ve směru posuvu a sil tření, působících v tomto směru. Znalost této složky řezné síly je potřebná při pevnostním výpočtu opěr a ložisek vřetene a mechanismu stroje [9].

Průmět síly F do osy y nazýváme přísmuvovou složkou řezné síly a označuje se F_p . Způsobuje průhyb obráběné součásti a může tak vyvolat nežádoucí vibrace, které mohou snížit přesnost obrobenej plochy.

Průmět síly F do osy z , se nazývá hlavní složkou řezné síly F_c . Tečná složka F_c je rovna sumárnímu působení sil odporu kovu.



Obr. 3 Rozklad výsledné řezné síly F [7]



Obr. 4 Čelní frézování - složky sil při obrábění

4.1 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA SLOŽKY SIL

Řezné síla F_c , která má rozhodující význam v procesu oddělování třísky je závislá především na obráběném materiálu a na řezných podmínkách. V zásadě existuje celkem 15 veličin, ale za rozhodující se prakticky považuje 10 veličin, které se také většinou zahrnují do výpočtu řezné síly [7].

Vliv obráběného materiálu - při obrábění různých druhů materiálu, při kterých jsou použity stejné řezné podmínky, budou výsledky měření řezných sil rozdílné. Příčinou jsou různé fyzikální a chemické vlastnosti těchto materiálů. Čím je tvrdost materiálu obrobku větší, tím jsou vyšší řezné síly.

Vliv posuvu - posuv má mimořádný vliv na řeznou sílu. Při vzrůstající velikosti posuvu, roste i řezná síla F_c , protože při zvyšujícím se posuvu se průřez třísky logicky zvětší a tím břit nástroje musí oddělit větší část materiálu a tím narůstá řezný odpor s řeznými silami.

Vliv hloubky řezu - se vzrůstající hloubkou obráběné vrstvy stoupá řezná síla F_c rovnoměrně, stejně jako u vlivu posuvu zde nastane zvětšení průřezu třísky a tím rostou i řezné síly.

Vliv štíhlosti poměru řezu - pod výrazem štíhlostní poměr řezu se uvádí podíl hloubky řezu a posuvu.

Vliv úhlu čela – řezná síla F_c roste, klesá-li úhel čela až do záporných hodnot, naopak roste-li v kladných hodnotách, pak dochází k poklesu řezné síly.

Vliv úhlu nastavení - úhel nastavení ovlivňuje řeznou sílu poměrně málo.

Vliv řezné rychlosti - v rozsahu řezné rychlosti 100 až 600 m.min⁻¹, kdy se tvoří plynulá tříska, klesá řezná síla s rostoucí řeznou rychlostí relativně pomalu. Při poklesu řezné rychlosti ze 100 m.min⁻¹ na rychlost 20 m.min⁻¹, dochází k výraznému vzrůstu řezné síly.

Vliv nástrojového materiálu – při použití keramických břitových destiček poklesne řezná síla F_c o 5 až 10 % oproti obrábění nástrojem ze slinutého karbidu. Naopak při použití rychlořezné oceli vzroste tato síla o 5 % za jinak shodných podmínek.

Vliv opotřebení břitu řezného nástroje – v průběhu obrábění dochází k opotřebení řezného nástroje a jeho funkčních ploch. Vzniká na čele výmol a na hřbetě opotřebovaná ploška. Hodnota tohoto opotřebení se s postupujícím časem, po který je nástroj v záběru, neustále zvětšuje. Řezná síla F_c vlivem opotřebení může vzrůst o 30 až 50 %.

Vliv chladících a mazacích prostředků - bylo uvedeno v kapitole požadavky na procesní kapaliny [7].

4.2 ZPŮSOBY STANOVENÍ SLOŽEK SIL

Znalost velikosti hodnot složek sil dává možnost vypočítat například velikost krouticího momentu M_k a výkonu potřebného pro obrábění P_{ef} . Tyto údaje lze potom využít pro pevnostní výpočty elementů technologické soustavy. Stanovení řezných sil lze provést dvojím způsobem a to: měřením a výpočtem [7].

4.2.1 Stanovení složek sil výpočtem

Výpočtové metody využíváme k prognózování dynamiky procesu obrábění stanovení hodnot řezných sil ještě dříve, než se uskuteční vlastní proces obrábění. Doposud známe metodiky výpočtu, které lze v zásadě rozdělit do tří skupin a to:

- stanovení složek sil na základě teoretických výpočtů,
- výpočet složek sil pomocí měrné řezné síly,
- výpočet metodou experimentálních rovnic.

Každá z uvedených metod byla postupně zpřesňována a vyvíjena mnoha výzkumnými pracemi, prováděné v laboratořích obrábění na celém světě. Výpočty k jednotlivým metodám lze najít v literatuře [7].

4.2.2 Stanovení složek sil měřením

Složky síly můžeme zjistit dvěma způsoby. Nepřímým měřením sil, kde měříme příkon, nebo krouticí moment na vřetenu a z něho řeznou sílu vypočítáme, nebo přímým měřením řezných sil.

4.2.3 Přímé měření složek sil

Pro přímé měření složek sil se používají dynamometry, umožňující měřit jednu, dvě nebo tři složky síly, popřípadě krouticí moment. Základní součástí dynamometru je pružný element, který se deformuje působením měřené síly. Deformaci tohoto elementu se měří snímačem a převádí se na jinou veličinu, kterou jsme schopni měřit nebo zaznamenat. Zpracování ze snímače se uskutečňuje v měřící aparatuře.

4.2.4 Rozdělení dynamometrů

Podle toho na jakou veličinu převádí snímač sílu, kterou měříme, lze dynamometry rozdělit na: mechanické, hydraulické, pneumatické a elektrické. Elektrické se dále potom rozdělují na odporové, piezoelektrické, indukční, kapacitní a dále.

Druhy snímačů užívaných v konstrukci dynamometrů

Drátkové tenzometry jsou založeny na změně odporu vodiče se změnou rozměru při deformaci.

Polovodičové tenzometry jsou tvořeny pásky z polovodivého materiálu, součinitel deformační citlivosti závisí na druhu polovodiče, jeho krystalografické orientaci a měrného odporu. Mají značně vyšší citlivost než drátkové.

Deformační členy pro měření

Převod síly na deformaci měřitelnou tenzometricky se uskutečňuje pružným prvkem, na kterém jsou tenzometry nalepeny. Tento element musí mít následující vlastnosti: dostatečná pevnost a odolnost proti porušení, minimální mechanická hystereze, dlouhodobá stabilizace, lineární průběh pružné deformace v závislosti na zatížení a minimální vnitřní pnutí.

Piezoelektrické dynamometry

Využívají pro snímání deformace piezoelektrického jevu, který je charakterizován vnikem elektrického náboje na povrchu krystalů při mechanickém zatížení. Mezi nejpoužívanější piezoelektrické materiály patří křemen, dále potom materiály na bázi

titaničitanu barnatého, Seignettovy soli a podobně. Základem piezoelektrického snímače pro tyto druhy dynamometrů je měřicí destička, která je vhodně vyříznuta z příslušného krystalu. Při zatížení je velikost náboje přímo úměrná velikosti působící síly. S poklesem zatížení se lineárně snižuje, až zcela vymizí při nulovém zatížení [7].

Vzniklý náboj je poměrně malý, a proto jsou kladeny vysoké požadavky na izolaci snímače, konektoru a připojovacího kabelu.

5 TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE, NÁSTROJE MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ A CHLADICÍ SOUSTAVY

5.1 Obráběcí stroj

Veškeré obráběcí operace byly provedeny na frézce FA 4AV od společnosti TOS Kuřim (obr. 5). Technické parametry frézky jsou uvedeny v tabulce 1. Stroj je součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže TU v Liberci.

Frézka FA 4AV		
Technické údaje	Hodnota	Jednotky
Vnější rozměry pracovní plochy	350 x 1600	[mm]
Pracovní zdvih svislý	425	[mm]
Pracovní zdvih podélný	1000	[mm]
Pracovní zdvih příčný	355	[mm]
Posuv podélný a příčný	10 - 1250	[mm/min]
Posuv svislý	2,5 - 315	[mm/min]
Rychloposuv podélný a příčný	3200	[mm/min]
Rychloposuv svislý	800	[mm/min]
Rozsah otáček vřetena	32 - 1400	[ot/min]
Elektromotor pro pohon vřetena	7,5	[kW]
Elektromotor pro posuvy	1,1	[kW]
Hmotnost stroje	2730	[kg]
Půdorysná plocha stroje	3010 x 2230	[mm]
Natočení vřeteníku na obě strany	45	[°]

Tab. 1 Technické parametry stroje [8]



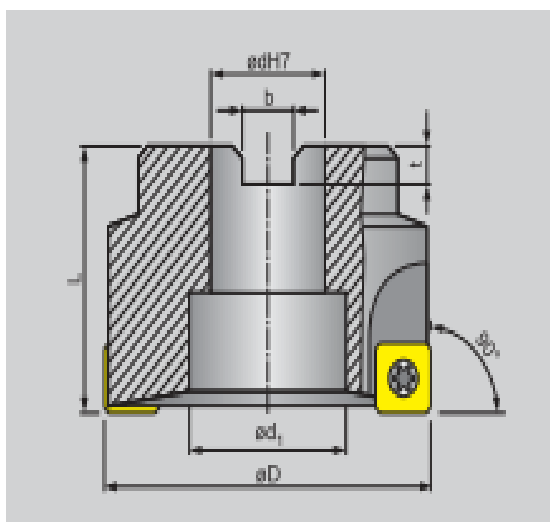
Obr. 5 Frézka FA 4AV

5.2 OBRÁBĚCÍ NÁSTROJ A VBD

Obráběcím nástrojem byla použita čelní frézovací hlava s pěti břity od firmy PRAMET s označením 80B05R-S90SP12D (obr. 6). Technické parametry této frézy jsou uvedeny na obrázku 7 a v tabulce 2. Fréza je součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže TU v Liberci.



Obr. 6 Fréza 80B05R-S90SP12D

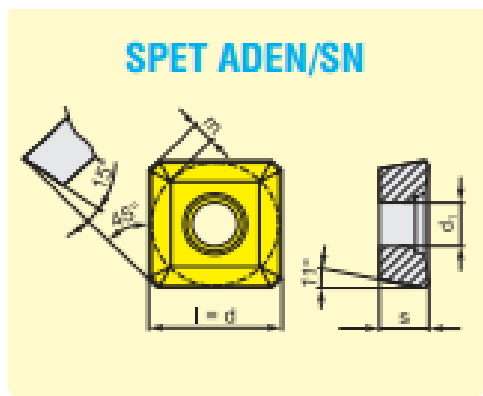


Obr. 7 Fréza 80B05R-S90SP12D [9]

80B05R-S90SP12D		
Rozměry	Hodnota	Jednotky
D	80	[mm]
dH7	27	[mm]
d	38	[mm]
L	50	[mm]
b	12,4	[mm]
t	7	[mm]
Poč. zubů	5	-

Tab. 2 Technické údaje frézy [9]

Výměnná břitová destička byla použita pod označením SPET 1204 AD SN (obr. 8). Zvolení právě této VBD je všestranné použití pro různé druhy materiálů při frézování, v našem případě oceli třídy 14 a 17. Technické parametry této VBD jsou uvedeny na obrázku 8 a tabulce 3. VBD je součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže TU v Liberci.



SPET 1204 AD SN		
Rozměry	Hodnota	Jednotky
l	12,7	[mm]
d	12,7	[mm]
s	4,76	[mm]
d	5,5	[mm]
m	1,9	[mm]
r	-	[mm]

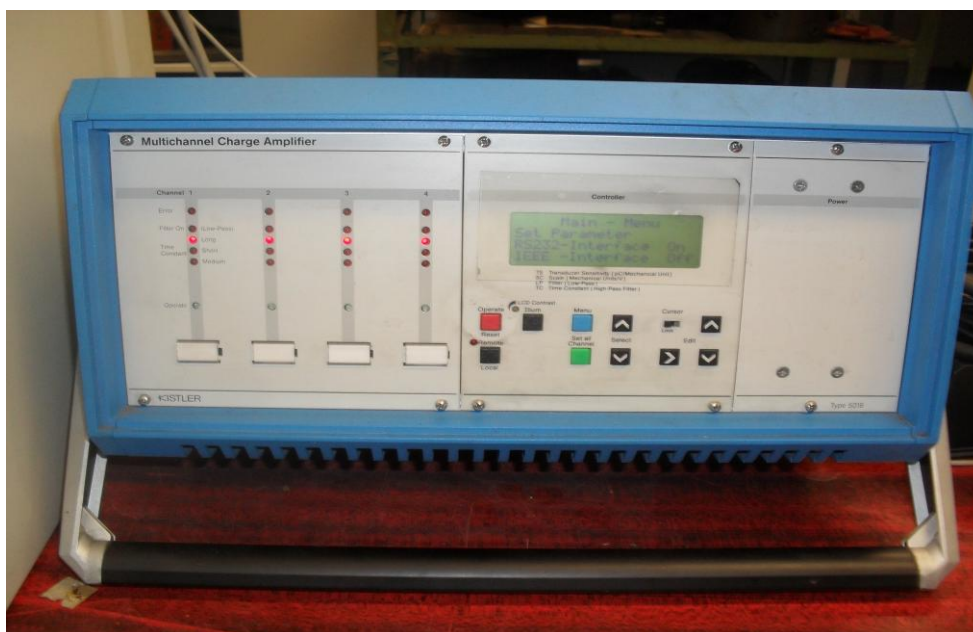
Tab. 3 Technické parametry VBD [9]

Obr. 8 VBD-Spet ADEN/SN [9]

5.3 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ – PIEZOELEKTRICKÝ DYNAMOMETR KISTLER

Pro měření složek řezných sil F_c , F_f a F_p byl použit piezoelektrický dynamometr KISTLER typu 9265B (obr. 13), který je součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže TU v Liberci.

Dynamometr KISTLER má vysokou vlastní frekvenci a je schopen měřit staticky i dynamicky. Je složen ze čtyř piezoelektrických snímačů, z toho každý je složen z piezoelektrických destiček, které jsou umístěny tak, že každá zachycuje sílu v jiném směru. Konstrukce dynamometru je zvolena tak, aby se náboje z jednotlivých snímačů sčítaly. Náboje z piezoelektrických snímačů jsou zesilovány nábojovým zesilovačem 5019 B (obr. 9) [5].



Obr. 9 Nábojový zesilovač 5019 B

Dynamometr KISTLER se převážně používá pro měření složek sil při broušení, frézování a soustružení. Při frézování se měřicí zařízení upne na stůl frézky pomocí upínek.

Správná funkce dynamometru je závislá na dodržení těchto podmínek:

- teplota vzduchu $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- vlhkost vzduchu $42\% \pm 5\%$

5.4 RUČNÍ REFRAKTOMETR BRIX 0-18 % ATC

Pro zjištění a kontrolu koncentrace procesní kapaliny byl použit ruční refraktometr Brix 0-18 % ATC s přesností $\pm 0,15\%$ (obr. 10). Tento refraktometr je součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže TU v Liberci.



Obr. 10 Ruční refraktometr Brix 0-18 % ATC

5.5 CHLADICÍ SESTAVA

Pro přívod procesní kapaliny a procesního média - vody do místa řezu, byla použita chladicí sestava (obr. 11), která byla vyrobena právě pro zajištění stálého průtočného množství do řezu. Sestava se skládá z nádrže, která má objem 3 litry. Tato nádoba je upevněna pomocí objímky k rámu stroje. Další část je kohout, kde můžeme nastavit přibližně stálé průtočné množství procesního média. Poslední částí je hadice, která plní funkci přívodu procesních médií do místa řezu.



Obr. 11 Chladicí sestava

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ŘEŠENÍ

6.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Pro experimentální část bakalářské práce byla použita cementační ocel 14 220.3 (obrobitelnost 12b - 13b) a ocel manganochromá 17 240 (obrobitelnost 10b). Volba právě těchto materiálu je součástí projektu pro firmu PARAMO, a.s.

Oba zkušební vzorky byly nařezány a frézovány ze všech stran frézou FA4A, pro stejné rozměry obou vzorků (tab. 5). Materiál 17 240 pro další použití označíme zkušební vzorek 1 a materiál 14 220.3 zkušební vzorek 2.

6.2 POUŽITÉ PROCESNÍ MÉDIUM

Pro řešení bakalářské práce bylo použito celkem 7 procesních medií a to: PARAMO ESOK 1.0D, PARAMO ESOK 1.0E, PARAMO ESOK 1.0F, PARAMO ESOK 1.1B, PARAMO ESOK 1.1D. Pro porovnání vlivu procesních kapalin byla použita také procesní médium voda a okolní vzduch.

Příprava procesních kapalin

Procesní média od firmy PARAMO, a.s. byla smíchána s vodou pro přibližně 5% koncentraci procesních kapalin. Pro měření a kontrolu koncentrace procesních kapalin jsme použili ruční refraktometr (obr. 10). Pro namíchání procesních kapalin bylo tedy použito celkem 6 pětilitrových barelů, přičemž jeden barel byl použit pro procesní médium vody. V případě spotřebování celého obsahu barelu bylo možné v průběhu experimentu doplnit barel danou procesní kapalinou.

Pro správné namíchání procesních kapalin je nutné refraktometrické měření násobit naměřenou koncentrací opravným koeficientem, který je uveden v tabulce 4.

Postup namíchání procesních kapalin byl následující:

- nalití vody do barelu,
- smíchání procesního média s vodou,
- promíchání barelu aby došlo ke smíchání procesního média,
- nanesení smíchané procesní kapaliny v podobě kapiček na sklíčko refraktometru pomocí pipety,
- přední část refraktometru nasměrovat na zdroj světla (v našem případě to byla svítilna u frézky) následně zaostření a odečtení hodnoty z refraktometru,

- případné domíchání vodou nebo procesním médiem pro požadovanou koncentraci procesní kapaliny,
- označení barelu danou procesní kapalinou pro zamezení záměny procesních kapalin mezi sebou.

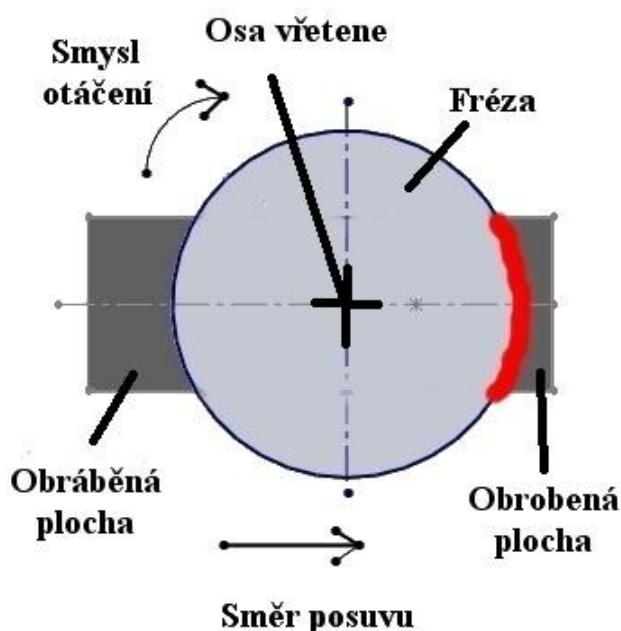
Procesní kapalina	Koeficient kapaliny	Koeficient refraktometru
PARAMO ESOK 1.0D	3	1,7
PARAMO ESOK 1.0E	3,1	1,6
PARAMO ESOK 1.0F	3,1	1,6
PARAMO ESOK 1.1B	2,1	2,4
PARAMO ESOK 1.1D	1,85	2,7

Tab. 4 Technické parametry procesních kapalin

6.3 METODIKA EXPERIMENTŮ

6.3.1 Příprava experimentů

Před zahájením měření bude provedeno seřízení stroje a jeho příslušenství. Na frézce je původní nastavení vřetene, kde osa vřetene přibližně svírá 90 stupňů se stolem stroje. Vřeteno bude vyoseno přibližně o půl stupně proti směru hodinových ručiček, aby břit nástroje při frézování nebyl v kontaktu s obrobenou plochou. Tato oblast možného kontaktu je naznačená na obrázku 12.



Obr. 12 Čelní frézování - naznačená oblast možného kontaktu břitu nástroje s obrobenou plochou

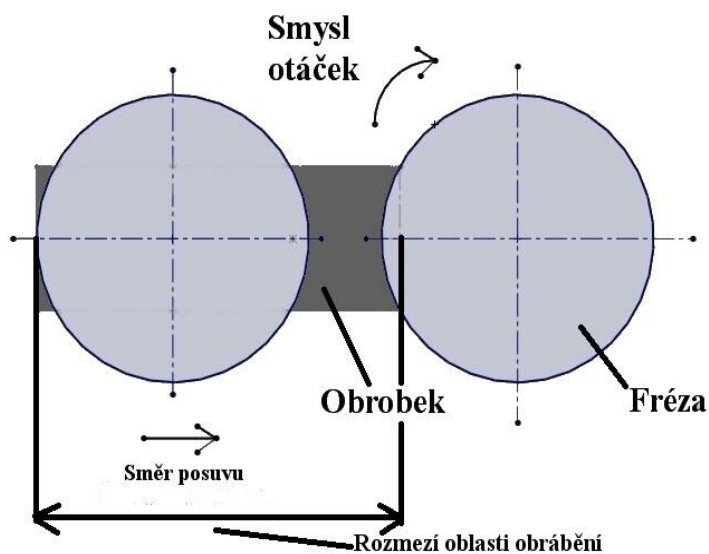
Nástroj bude upnut mechanicky, pomocí závitové tyče do vřetena stroje. Do hlavy nástroje byla ustavena a upevněna jedna VBD ze slinutých karbidů od firmy Pramet Tools s.r.o. Všechny experimenty budou uskutečněny jednou destičkou pro zaručení konstantní tloušťky záběru. Na stůl stroje bude upevněn čtyřmi šrouby dynamometr Kistler s již upnutým svěrákem (obr 13).



Obr. 13 Dynamometr Kistler - jeho upnutí na desku stroje

Do svěráku bude první upnut zkušební vzorek 1 z materiálu 17 240. Pro zaručení rovinnosti a kolmosti zkušebního vzorku vůči nástroji, bude potřeba vrchní vrstvu frézovat minimální tloušťkou. V našem případě bude tato hodnota odpovídat hloubce záběru $a_p = 0,2 \text{ mm}$. Před začátkem měření bude nutné najetí frézy do materiálu obrobku, tak aby nástroj odebíral celou šířku obráběné součásti (obr. 14). Na obrázku 14 je naznačeno rozmezí oblasti obrábění, v kterém bude probíhat měření složek sil. Tento postup se bude opakovat u všech experimentů u obou zkušebních vzorků oceli třídy 17 a 14.

Po přípravě zkušebního vzorku dojde k nastavení řezných podmínek, které budou navrhnuty podle tabulky 5. Měření bude začínat obráběcím vzorkem 1 ocel třídy 17, kde dojde k nastavení řezných podmínek dle experimentu 1 (tab. 5). Měření při experimentu 1 bude provedeno v jednom nastavení hloubky záběru, pro zaručení stejného průřezu třísky.



Obr. 14 Čelní frézování - rozmezí oblasti obrábění

Metodika experimentu						
Operace			Zkušební vložek			
Způsob obrábění	Frézování	Číslo vzorku	Materiál	Rozměry		
Způsob frézování	Čelní	1	14 220.3	45x40x120		
Počet řezn. břitů	1	2	17 240	45x40x120		
Opakování ex.	5	Jednotky		[mm]		
Nástroj			Stroj			
Frézovací hlava	Pramet	80B05R-S90SP12D	Konzolová frézka svislá FA4A			
VBD (ISO)	P30/M20/K15	SPET 1204 AD SN	Firma TOS Olomouc			
Podmínky experimentu						
Experiment číslo		1	2	3	4	
Otáčky	n	90	180	90	90	[ot/min]
Řezná rychlost	v _c	25,4	50,8	25,4	25,4	[m/min]
Posuv na zub	f _z	0,1	0,2	0,1	0,1	[mm]
Hloubká záběru	a _p	0,5	0,5	0,5	1	[mm]
Procesní média				Měřené parametry		
Vzorek	Druh média	Koncentrace	Jednotky	Složky síly		
1	1.0D	5	[%]	Přísuvová	F _p	[N]
2	1.0E	5	[%]	Posuvová	F _f	[N]
3	1.0F	5	[%]	Řezná	F _c	[N]
4	1.1B	5	[%]			
5	1.1D	5	[%]	Měřicí přístroj		
6	Voda	-		Pizoelektrický dynamometr		
7	Vzduch	-		Kistler		
Teplota	t	21	[°C]			
Průtočné množství	Q _v	4	[l.min ⁻¹]			

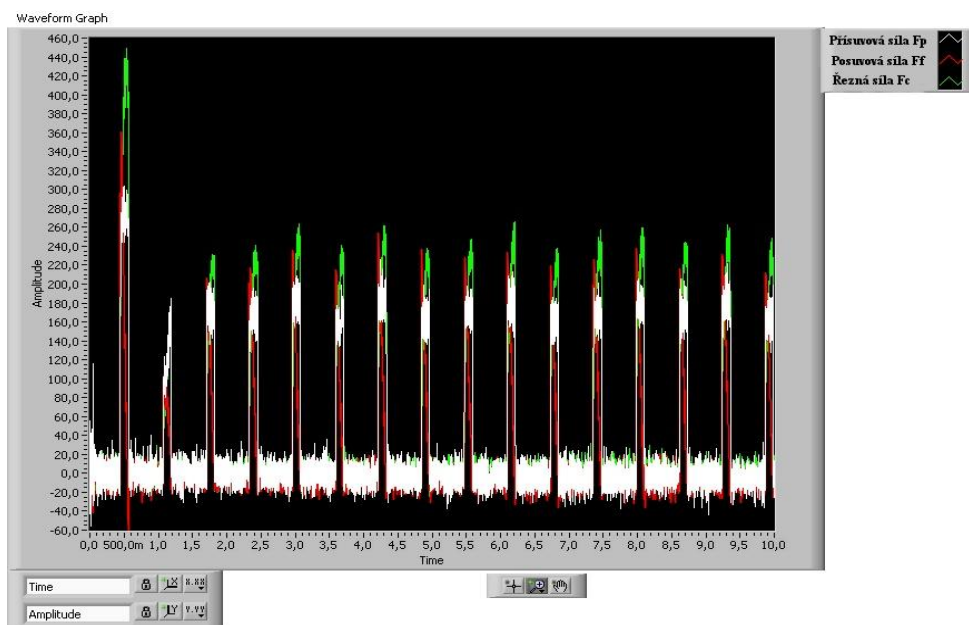
Tab. 5 Metodika experimentu

6.3.2 Měření sil

Při experimentech byl zkoumán vliv procesních médií na maximální velikost řezné síly F_c , posuvové síly F_f a příusuvové síly F_p . Hodnoty těchto sil budou naměřeny dynamometrem Kistler a vyhodnoceny programem LabVIEW 6.1. Výstupy budou mít grafickou (obr. 15) a tabulkovou podobu. Výsledky budou zaznamenány a nalezneme je v příloze na CD ve složce vyhodnocení experimentu – pomocné.

Vyhodnocení výsledků bude provedeno v programu MATLAB R2007b, do kterého zadáme tabulkové výstupy z měření. Program následně vypíše nejvyšší hodnoty složek řezných sil F_c , F_f a F_p , zaznamenaných během měření. Nebude-li možné vyhodnotit data z programu MATLAB R2007b, bude potřeba odečíst tyto hodnoty pomocí programu Poznámkový blok.

Na obrázku 15 je znázorněn grafický výstup měření, kde můžeme vidět průběh velikosti složek sil F_c , F_f a F_p v jednotlivých časových úsecích. Je zde vidět několik záběrů jednoho břitů nástroje v časovém úseku 10 sekund. Celkem nástroj vykonal 16 záběrů břitů během 10 sekund. Z důvodů možné vůle posuvového mechanismu, zde může docházet ke skokovému nárůstu sil (obr 15). Vyloučením tohoto nárůstu bude v každém experimentu vybráno pouze posledních 5 záběrů. V okamžiku, kdy se břit dostane do záběru, začnou růst složky síly F_c , F_f a F_p . Po překročení nastavené hodnoty 30 N spustí program LabVIEW zápis hodnot, který bude trvat u všech experimentů 10 s kromě experimentu 2, kde bude doba měření zvolena 6 sekund, z důvodu vyššího posuvu (omezená délka obrobku).



Obr. 15 Grafický výstup měření programu LabVIEW 6.1

Postup měření bude následující:

- naplnění chladicí sestavy hodnocenou procesní kapalinou (vodou),
- spuštění měření dynamometru Kistler pomocí nábojového zesilovače 5019 B,
- nastavení ventilu chladicího systému pro zaručení požadovaného průtočného množství pomocí dorazu,
- spuštění otáček a posuvu stroje,
- vyhodnocení a uložení složek sil pomocí programu LabVIEW 6.1,
- vypnutí stroje a uzavření přívodu kapaliny,
- ukončení měření dynamometru Kistler,
- vypláchnutí chladicího systému pomocí speciální čistící kapaliny s koncentrací 1%,
- opakovat měření celkem 5 x za sebou

Tento postup bude proveden při všech experimentech (ex. 1 až 4), při všech procesních médiích (PARAMO ESOK 1.0D, PARAMO ESOK 1.0E, PARAMO ESOK 1.0F, PARAMO ESOK 1.1B, PARAMO ESOK 1.1D, voda a okolní vzduch) a při obou zkušebních vzorků (ocel třídy 17 a 14). Měření bude provedeno u všech procesních médií 5x za sebou, z důvodu vyloučení chyby měření a vlastního provedení experimentu.

7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Vliv procesního prostředí na proces čelního frézování byl experimentován při použití následujících procesních médií: PARAMO ESOK 1.0D, PARAMO ESOK 1.0E, PARAMO ESOK 1.0F, PARAMO ESOK 1.1B, PARAMO ESOK 1.1D, procesního média vody a okolního vzduchu.

7.1 HODNOCENÍ VLIVU PROCESNÍCH MÉDIÍ NA SLOŽKY SIL PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ

Vliv procesních médií na složky řezných sil při čelním frézování byl vyhodnocen při zvolení různých řezných podmínek a byl tedy rozdělen do čtyř částí a to: experiment 1 až 4. Na začátku každé kapitoly jsou uvedeny zvolené řezné podmínky. Výsledky mají grafickou i tabulkovou podobu a jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách. Ostatní materiály o podrobných výsledcích experimentů nalezneme na CD, které je součástí této práce. Posouzení bylo provedeno u obou zkušebních vzorků (ocel třídy 17 a 14).

7.1.1 Experiment 1

Pro experiment 1 byly zvoleny řezné podmínky podle tabulky 6. Otáčky stroje byly nastaveny na 100 s^{-1} a řezná rychlost byla vypočítána na 25,4 m/min. Posuv na zub byl zvolen 0,1 mm a hloubka záběru 0,5 mm.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Materiál vzorku	17 420		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	254	227	205
1.0E	257	228	207
1.0F	258	236	209
1.1B	257	235	206
1.1D	258	234	203
Voda	271	246	222
Okolní vzduch	256	247	201

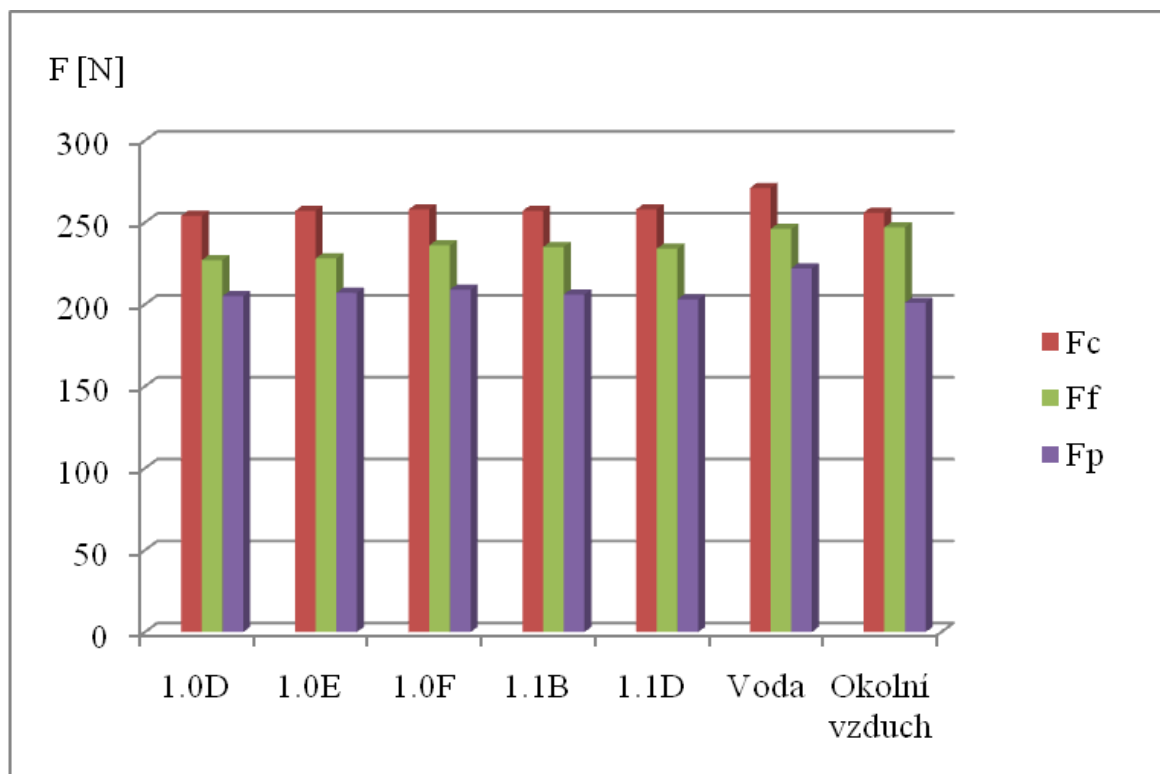
Tab. 7 Experiment 1 - max. hodnoty složek sil

Podmínky experimentu 1		
	Hodnota	Jednotky
v_c	25,4	[m/min]
f_z	0,1	[mm]
a_p	0,5	[mm]

Tab. 6 Experiment 1- řezné podmínky

Z grafu 1 a tabulky 7 byla zaznamenána maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování u procesního média - vody. Minimální hodnota řezné síly F_c byla vyhodnocena u procesní kapaliny 1.0D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou řezné síly F_c byl přibližně 6 % z nejvyšší hodnoty. U zbývajících procesních prostředí vykazovala řezná síla F_c přibližně stejnou velikost.

Posuvová síla F_f vykazuje nejvyšší hodnotu u procesního média - okolního vzduchu. Maximální hodnota přísluvové síly F_p byla neměřena u procesního média - vody.



Graf 1 Experiment 1 – max. hodnoty složek sil materiálu 17 420

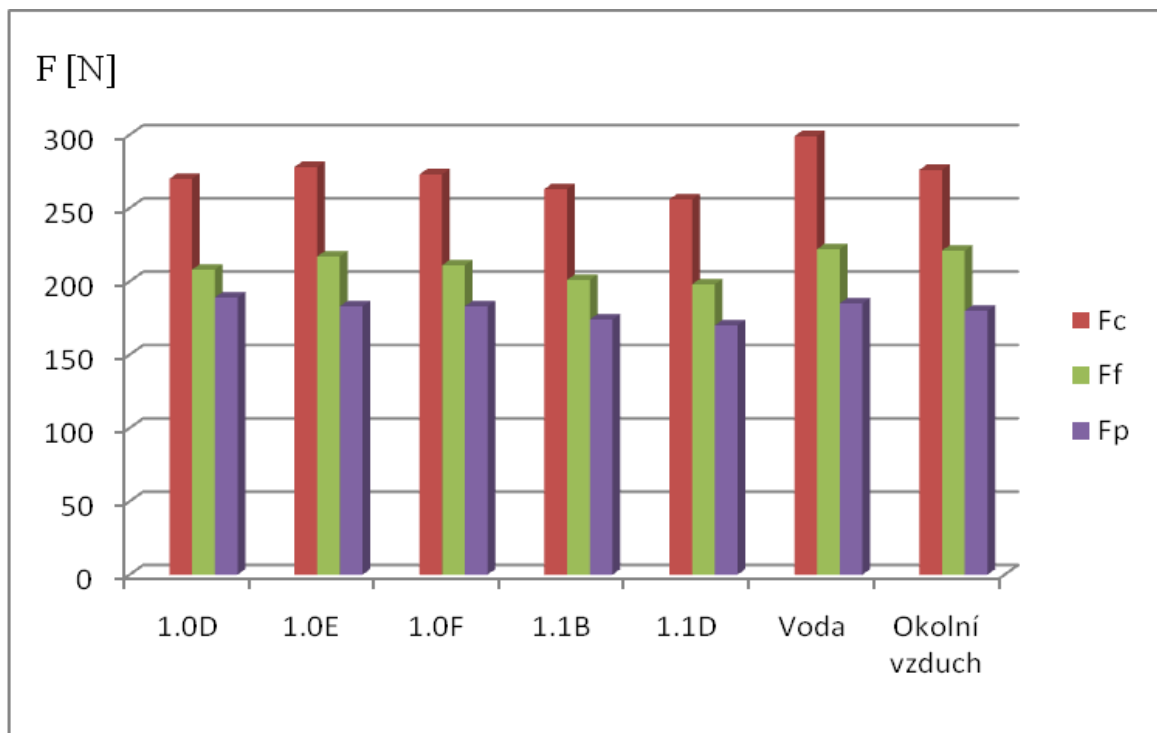
Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Materiál vzorku	14 220.3		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	270	208	189
1.0E	278	217	183
1.0F	273	211	183
1.1B	263	201	174
1.1D	256	198	170
Voda	299	222	185
Okolní vzduch	276	221	180

Tab. 8 Experiment 1 - max. hodnoty složek sil

Z tabulky 8 a grafu 2 byla maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování vyhodnocena u procesního prostředí – vody. Minimální hodnota řezné síly F_c byla naměřena u procesní kapaliny 1.1D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou řezné síly F_c činil zhruba 14 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové síly F_f byla naměřena maximální hodnota také u procesního média - vody. Maximální hodnota přísluvové složky síly F_p byla zaznamenána u procesní kapaliny 1.0D.



Graf 2 Experiment 1 – max. hodnoty složek sil materiálu 14 220.3

7.1.2 Experiment 2

Tabulka 9. nám udává řezné podmínky pro experiment 2. Byly zvýšeny otáčky stroje na 200 s^{-1} a tím se zvýšila i řezná rychlost na $50,8 \text{ m/min}$. Řezná rychlost je tedy 2x větší než u experimentu 1. Ostatní řezné podmínky jsou stejné jako při experimentu 1.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Materiál vzorku	17 420		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	187	186	196
1.0E	194	184	208
1.0F	200	188	215
1.1B	197	202	220
1.1D	185	176	201
Voda	198	196	210
Okolní vzduch	186	199	174

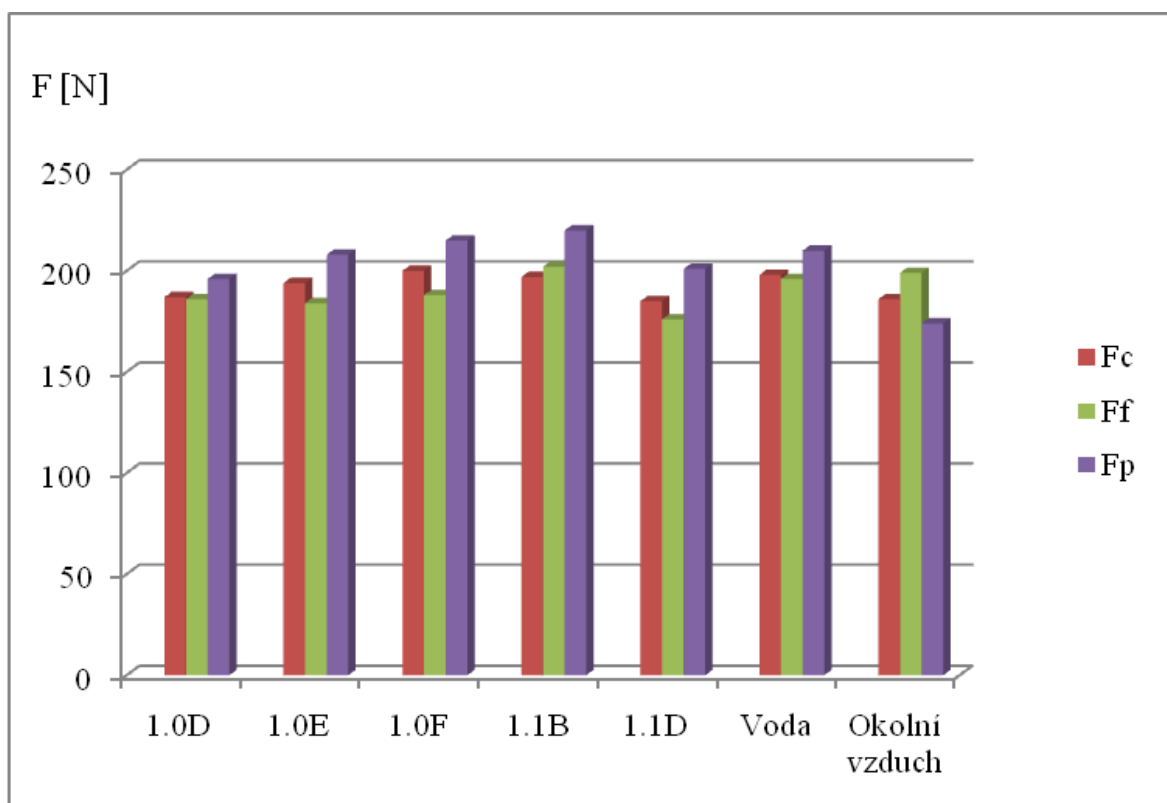
Tab. 10 Experiment 2 - max. hodnoty složek sil

Podmínky experimentu 2		
	Hodnota	Jednotky
v_c	50,8	[m/min]
f_z	0,1	[mm]
a_p	0,5	[mm]

Tab. 9 Experiment 2 - řezné podmínky

Z tabulky 10 a grafu 3 byla maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování naměřena u procesní kapaliny 1.0F a minimální hodnota u procesní kapaliny 1.1D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou řezné síly F_c činí 7,5 % z nejvyšší hodnoty.

Maximální hodnota posuvové síly F_f a přísluvové síly F_p byla zaznamenána u procesní kapaliny 1.1B.



Graf 3 Experiment 2 – max. hodnoty složek sil materiálu 17 420

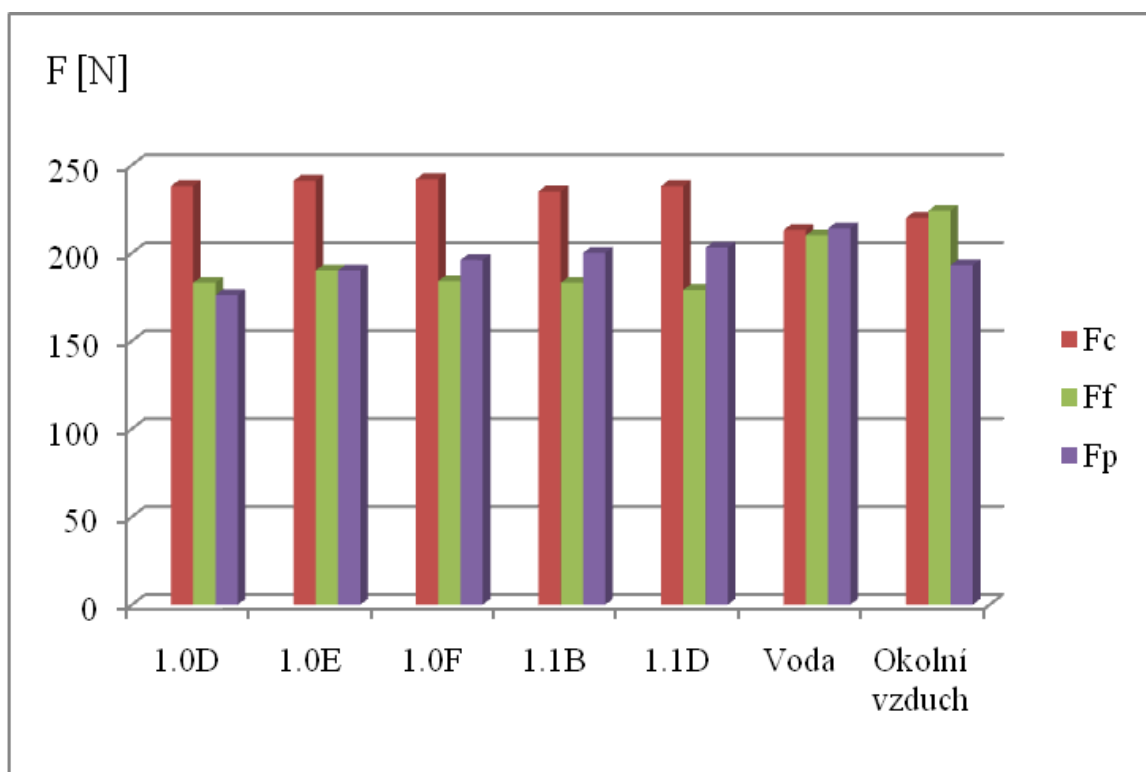
Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Materiál vzorku	14220.3		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	238	183	176
1.0E	241	190	190
1.0F	242	184	196
1.1B	235	183	200
1.1D	238	179	203
Voda	213	210	214
Okolní vzduch	220	224	193

Tab. 11 Experiment 2 - max. hodnoty složek sil

Z grafu 4 a tabulky 11 byla maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování vyhodnocena u procesní kapaliny 1.0F. Minimální hodnota řezné síly F_c byla naměřena u procesního média - vody. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou činí přibližně 12 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové složky F_f byla max. hodnota zaznamenána u procesního média - okolního vzduchu. Maximální hodnota přísluvové síly F_p byla naměřena znovu procesního média - vody.



Graf 4 Experiment 2 – hodnoty složek sil materiálu 14 220.3

7.1.3 Experiment 3

Pro experiment 3 byly zvoleny řezné podmínky dle tabulky 10. Otáčky byly nastaveny na 100 s^{-1} , stejné jako u Experimentu 1. Posuv na zub se zvýšil na 0,2 mm, tedy dvojnásobně než u Experimentu 1.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Materiál vzorku	17 420		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	413	348	310
1.0E	420	355	314
1.0F	413	351	306
1.1B	410	358	294
1.1D	412	349	291
Voda	416	349	281
Okolní vzduch	395	337	268

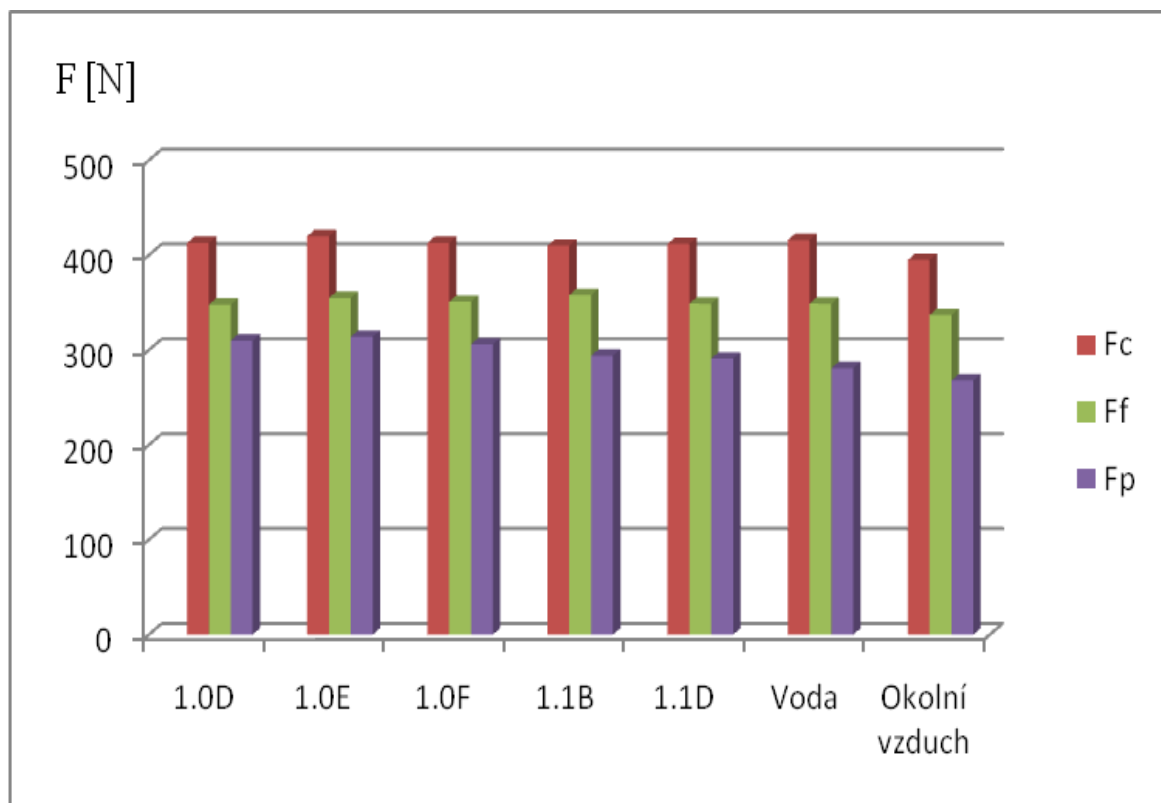
Tab. 13 Experiment 3- max. hodnoty složek sil

Podmínky experimentu 3		
	Hodnota	Jednotky
v_c	25,4	[m/min]
f_z	0,2	[mm]
a_p	0,5	[mm]

Tab. 12 Experiment 3 - řezné podmínky

Z tabulky 13 a grafu 3 byla zaznamenána maximální hodnoty řezné síly F_c při čelním frézování u procesní kapaliny 1.0E a minimální u procesního média - okolního vzduchu. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou činil zhruba 6 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové složky F_f byla maximální hodnota naměřena u procesní kapaliny 1.0E. Maximální hodnota přísluvové složky F_p byla vyhodnocena u procesního média - okolního vzduchu.



Graf 5 Experiment 3 – max. hodnoty složek sil materiálu 17 420

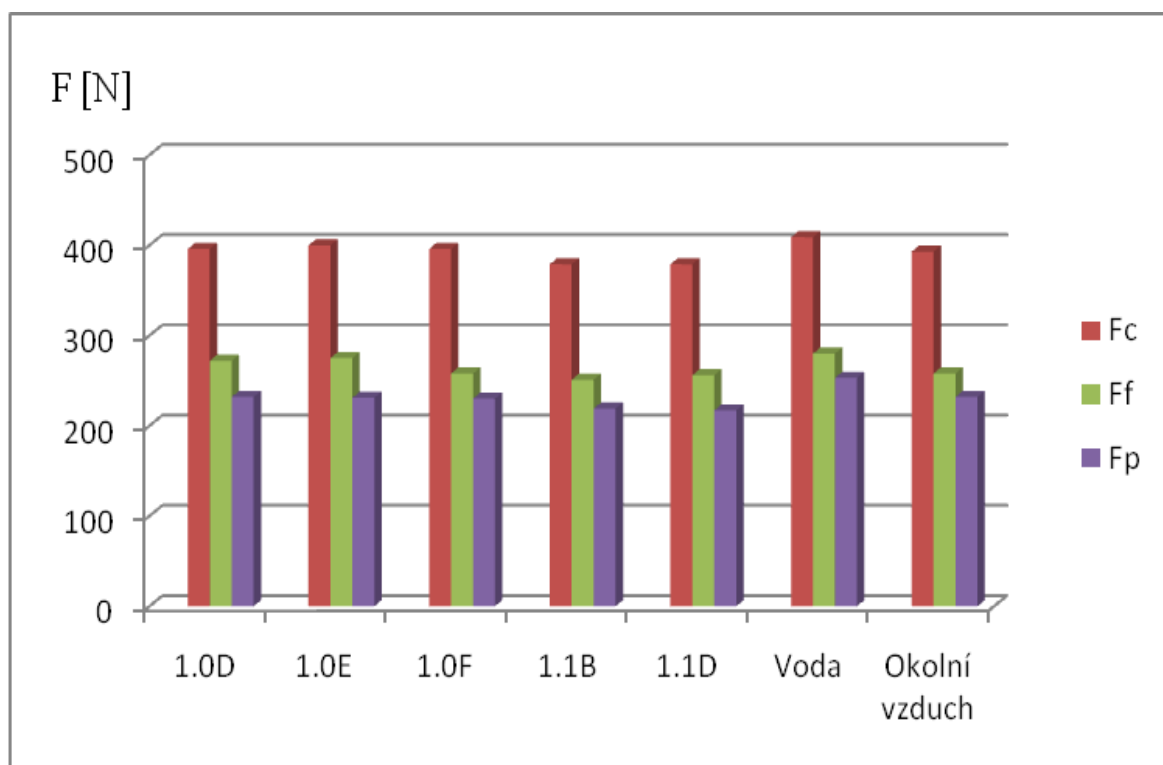
Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Materiál vzorku	14 220.3		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	396	272	232
1.0E	400	275	231
1.0F	396	258	230
1.1B	379	251	219
1.1D	379	256	217
Voda	409	280	253
Okolní vzduch	393	258	232

Tab. 14 Experiment 3 - max. hodnoty složek sil

Z grafu 6 a tabulky 14 byla vyhodnocena maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování u procesního média – vody. Minimální hodnota řezné síly F_c byla naměřena u procesních kapalin 1.1B a 1.1D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou řezné síly F_c byl zhruba 8 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové složky F_f a přísluvové síly F_p byly maximální hodnoty naměřeny u procesního média - vody.



Graf 6 Experiment 3 – max. hodnoty složek sil materiálu 14 220.3

7.1.4 Experiment 4

Pro experiment 4 byly nastaveny řezné podmínky podle tabulky 15. Posuv na zub byl nastaven na 0,1 mm. Hloubka záběru byla zvolena na 1 mm. Řezná rychlost byla zvolena jako při ex. 1, tedy 25,4 m/min.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Materiál vzorku	17 420		
Procesní médium	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	456	416	307
1.0E	460	436	317
1.0F	461	430	315
1.1B	463	434	326
1.1D	467	432	330
Voda	482	434	322
Okolní vzduch	465	443	307

Tab. 16 Experiment 4- max. hodnoty složek sil

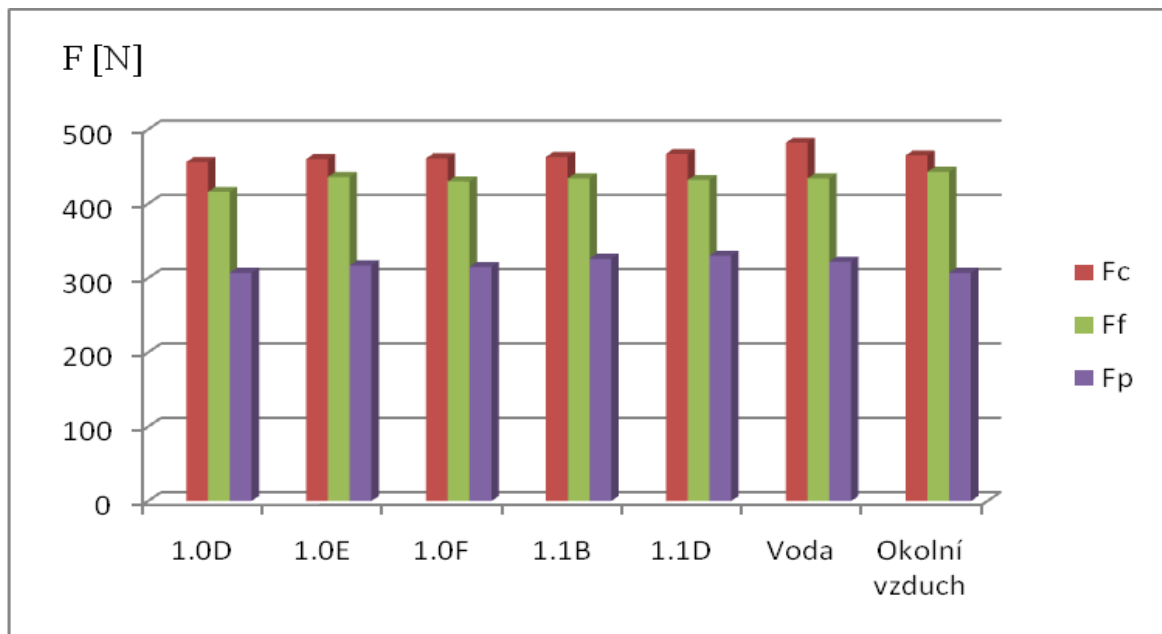
Podmínky experimentu 4		
	Hodnota	Jednotky
v_c	25,4	[m/min]
f_z	0,1	[mm]
a_p	1	[mm]

Tab. 15 Experiment 4 - řezné podmínky

Z tabulky 16 a grafu 7 byla vyhodnocena maximální řezná síla F_c při čelním frézování u procesního média – vody Minimální hodnota řezné síly F_c byla zaznamenána

u procesní kapaliny 1.0D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou F_c činil přibližně 6 % z nejvyšší hodnoty.

Maximální hodnota posuvové síly F_f byla naměřena u procesního média - okolního vzduchu. U přísmuvové síly F_p byla zaznamenána max. hodnota u procesní kapaliny 1.1D.



Graf 7 Experiment 4 - max. hodnoty složek sil materiálu 17 420

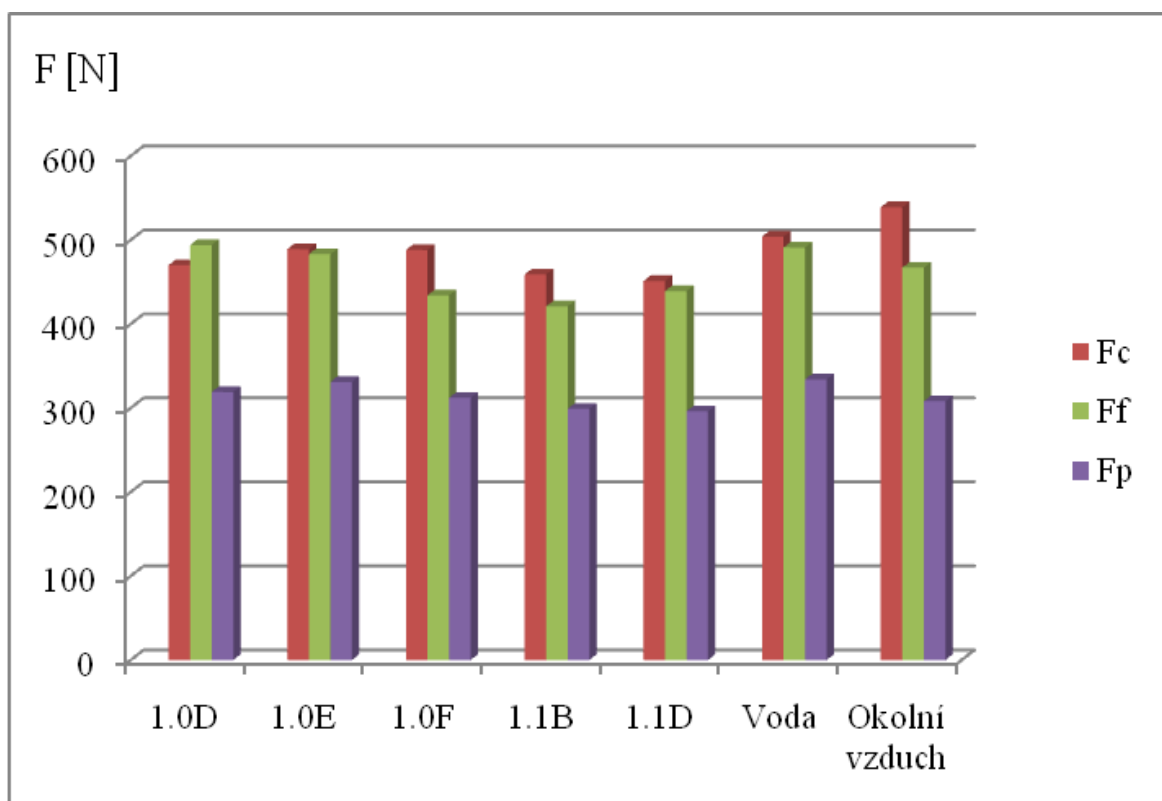
Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Materiál vzorku	17 420		
Procesní prostředí	F_c [N]	F_f [N]	F_p [N]
1.0D	470	494	319
1.0E	489	483	331
1.0F	488	434	312
1.1B	459	421	299
1.1D	451	439	296
Voda	504	491	334
Okolní vzduch	539	467	308

Tab. 17 Experiment 4 - max. hodnoty složek sil

Z grafu 8 a tabulky 17 byla maximální hodnota řezné síly F_c při čelním frézování vyhodnocena u procesního média - okolního vzduchu. Minimální hodnota řezné síly F_c byla naměřena u procesní kapaliny 1.1D. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou byl 17 % z nejvyšší hodnoty.

Maximální posuvová síla F_f byla zaznamenána u procesní kapaliny 1.0D. U přísmuvové složky F_p byla maximální hodnota síly vyhodnocena u procesního média - vody.



Graf 8 Experiment 4 - max. hodnoty složek sil materiálu 14 220.3

7.2 HODNOCENÍ VLIVU ŘEZNÝCH PODMÍNEK PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ NA SLOŽKY SIL PŘI POUŽITÍ PROCESNÍCH MÉDIÍ

Porovnání složek sil F_c , F_f a F_p bylo uskutečněno při změnách těchto řezných podmínek: řezná rychlost, posuv na zub a hloubka záběru. Porovnání bylo provedeno u obou zkušebních vzorků. Výsledky mají grafickou i tabulkovou podobu a jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách. Ostatní materiály o podrobných výsledcích experimentů nalezneme na CD, které je součástí této práce.

7.2.1 Porovnání experimentu 1 s experimentem 2

Bylo provedeno porovnání experimentu 1, kde řezná rychlost byla 25,2 m/min s experimentem 2, při řezné rychlosti 50,4 m/min.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

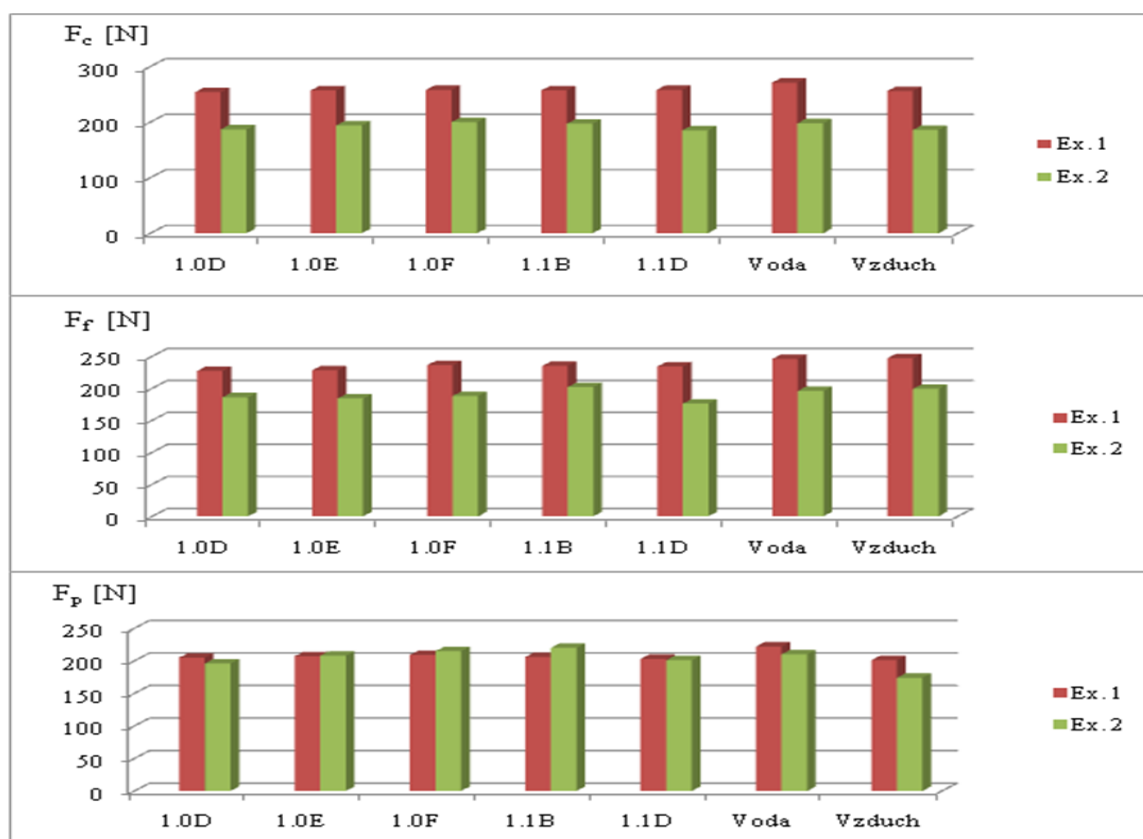
Z tabulky 18 a grafu 9 vykazuje řezná síla F_c při čelním frézování u všech procesních médií při porovnání ex. 1 s ex. 2, právě vyšší hodnoty při experimentu 1. Největší rozdíl byl zaznamenán u vody, činil zhruba 27 % z nejvyšší hodnoty. Nejmenší

rozdíl byl vyhodnocen u procesní kapaliny 1.0F, kde rozdíl byl přibližně 22,5 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové síly F_f byly opět zaznamenány vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při experimentu 1. U přísluvové složky F_p nedošlo při měření k výraznému rozdílu hodnot, největší rozdíl byl zaznamenán u procesní kapaliny 1.1B.

Složky síly [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní médium	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 1	Ex. 2
1.0D	254	187	227	186	205	196
1.0E	257	194	228	184	207	208
1.0F	258	200	236	188	209	215
1.1B	257	197	235	202	206	220
1.1D	258	185	234	176	203	201
Voda	271	198	246	196	222	210
Vzduch	256	186	247	199	201	174

Tab. 18 Porovnání max. složek sil ex.1 s ex. 2 u materiálu 17 420



Graf 9 Srovnání max. složek sil při změně řezné rychlosti u materiálu 17 420

Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Z grafu 10 a tabulky 19 byla zaznamenána vyšší hodnota řezné síly F_c při čelním frézování u všech procesních prostředí při porovnání ex. 1 s ex. 2, právě u ex. 1. Nejvyšší

rozdíl síly F_c byl zaznamenán u procesního média - vody a činil zhruba 29 %. Naopak minimální rozdíl byl vyhodnocen u procesní kapaliny 1.1D a byl přibližně 7 %.

U posuvové složky F_f byly opět vyhodnocena vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při ex. 1, kromě vzduchu, kde F_c byla vyšší u ex. 2. U přísluvové složky F_p byly vyšší hodnoty zaznamenány u ex. 2, kromě procesní kapaliny 1.0D.

Složky síly [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní prostředí	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 1	Ex. 2
1.0D	270	238	204	183	189	176
1.0E	278	241	212	190	180	190
1.0F	273	242	211	184	183	196
1.1B	263	235	201	183	174	200
1.1D	256	238	195	179	168	203
Voda	299	213	205	210	183	214
Vzduch	276	220	217	224	180	193

Tab. 19 Porovnání max. složek sil ex.1 s ex. 2 u materiálu 14 220.3



Graf 10 Srovnání max. složek sil při změně řezné rychlosti u materiálu 14 220.3

7.2.2 Porovnání experimentu 1s experimentem 3

Byl porovnán experiment 1 s experimentem 3. Při ex. 1 byl nastaven posuv na zub 0,1 mm, který byl v ex. 3 zvýšen na 0,2 mm.

Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Z tabulky 20 a grafu 11 vykazuje řezná síla F_c při čelním frézování u všech procesních prostředí při porovnání ex. 1 s ex. 3, právě vyšší hodnoty u experimentu 3. Maximální rozdíl byl zaznamenán u procesního média - vzduchu, kde rozdíl činil zhruba 23 %. Minimální rozdíl byl vyhodnocen u procesní kapaliny 1.0D a činil přibližně 12 %.

Posuvová síla F_f vykazuje také vyšší hodnoty u všech procesních prostředí, stejně je tomu tak i u síly přísluvové F_p .

Složky síly [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní médium	Ex. 1	Ek. 3	Ek. 1	Ek. 3	Ek. 1	Ek. 3
1.0D	254	413	227	348	205	310
1.0E	257	420	228	355	207	314
1.0F	258	413	236	351	209	306
1.1B	257	410	235	358	206	294
1.1D	258	412	234	349	203	291
Voda	271	416	246	349	222	281
Okolní vzduch	256	395	247	337	201	268

Tab. 20 Porovnání max. složek sil ex.1 s ex.3 u materiálu 17 420



Graf 11 Srovnání max. složek sil při změně posuvu u materiálu 17 420

Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

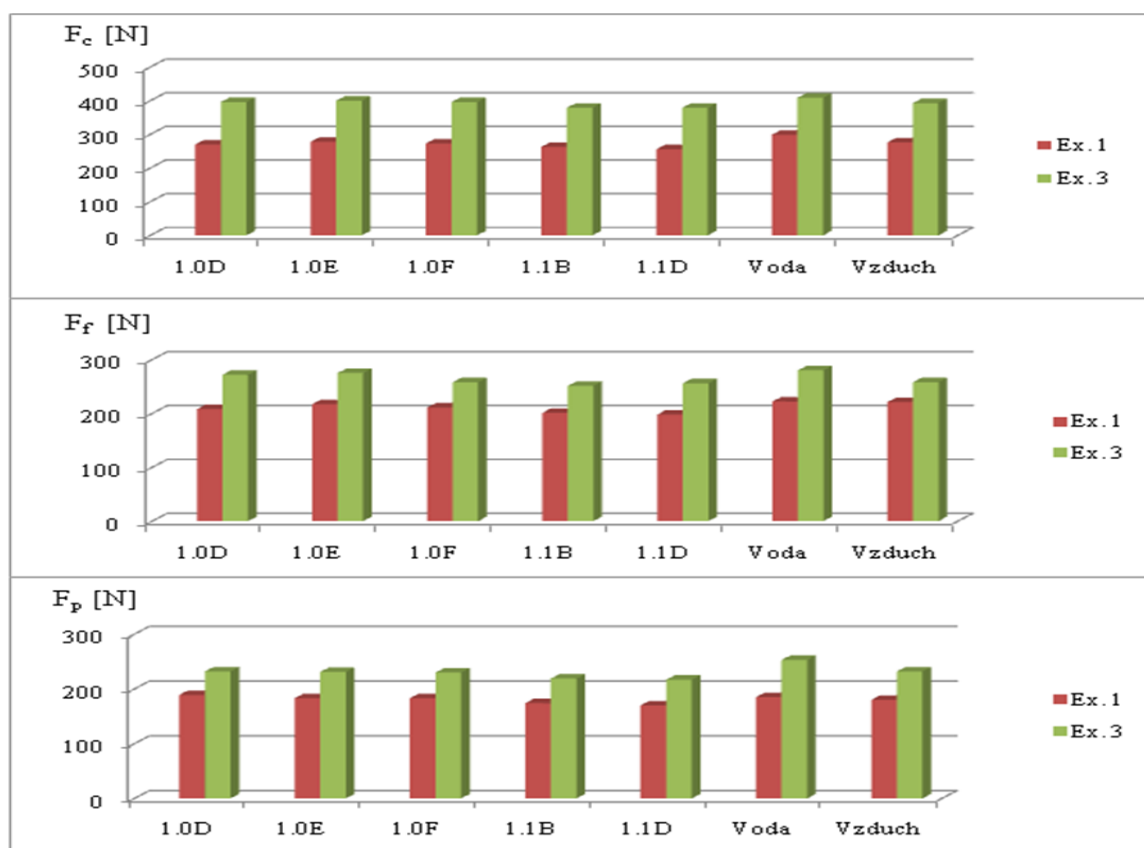
Z grafu 12 a tabulky 21 řezná síla F_c při čelním frézování vykazuje vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při srovnání experimentu 1 s experimentem 3, právě

u experimentu 3. Maximální rozdíl síly F_c byl zaznamenán u procesní kapaliny 1.0D, kde rozdíl činil zhruba 30 % z nejvyšší hodnoty. Minimální byl zaznamenán u procesního média - vody a činil přibližně 27 % z nejvyšší hodnoty.

Posuvová síla F_f a přísluvová síla F_p vykazují opět vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při ex. 3.

Složky sil [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní prostředí	Ex. 1	Ex. 3	Ex. 1	Ex. 3	Ex. 1	Ex. 3
1.0D	270	396	204	272	189	232
1.0E	278	400	212	275	180	231
1.0F	273	396	211	258	183	230
1.1B	263	379	201	251	174	219
1.1D	256	379	195	256	168	217
Voda	299	409	205	280	183	253
Vzduch	276	393	217	258	180	232

Tab. 21 Porovnání max. složek sil ex. 1 s ex. 3 u materiálu 14 220.3



Graf 12 Srovnání max. složek sil při změně posuvu u materiálu 14 220.3

7.2.3 Porovnání experimentu 1 s experimentem 4

Posledním porovnávacím parametrem byla hloubka záběru. Byl porovnán experimentu 1, kdy hloubka byla nastavena na 0,5 mm s experimentem 4, při hloubce záběru 1 mm.

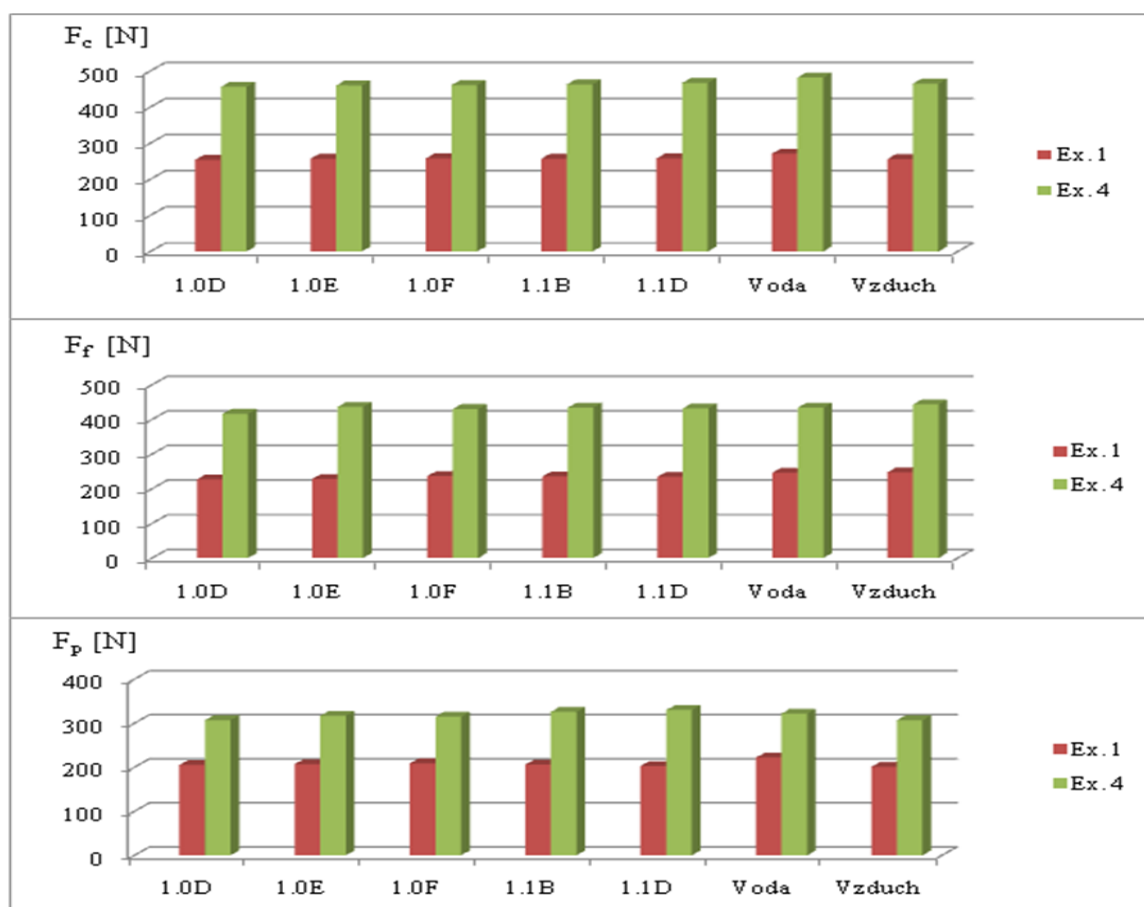
Zkušební vzorek 1 - ocel třídy 17

Z tabulky 22 a grafu 13 byla vyhodnocena řezná síla F_c při čelním frézování vykazuje vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při porovnání experimentu 1 s experimentem 4, právě u experimentu 4. Maximální rozdíl byl zaznamenán u procesního média - vody, kde rozdíl činil zhruba 44 % z nejvyšší hodnoty. Minimální byl vyhodnocen u procesní kapaliny 1.0D a činil přibližně 46 % z nejvyšší hodnoty.

U posuvové síly F_f a přísluvové síly F_p byly zaznamenány vyšší hodnoty u všech procesních prostředí u experimentu 4.

Složky síly [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní médium	Ex. 1	Ex. 4	Ex. 1	Ex. 4	Ex. 1	Ex. 4
1.0D	254	456	227	416	205	307
1.0E	257	460	228	436	207	317
1.0F	258	461	236	430	209	315
1.1B	257	463	235	434	206	326
1.1D	258	467	234	432	203	330
Voda	271	482	246	434	222	322
Vzduch	256	465	247	443	201	307

Tab. 22 Porovnání max. složek sil ex. 1 s ex. 4 u materiálu 17 420



Graf 13 Srovnání max. hodnot složek sil při změně hloubky záběru u materiálu 17 420

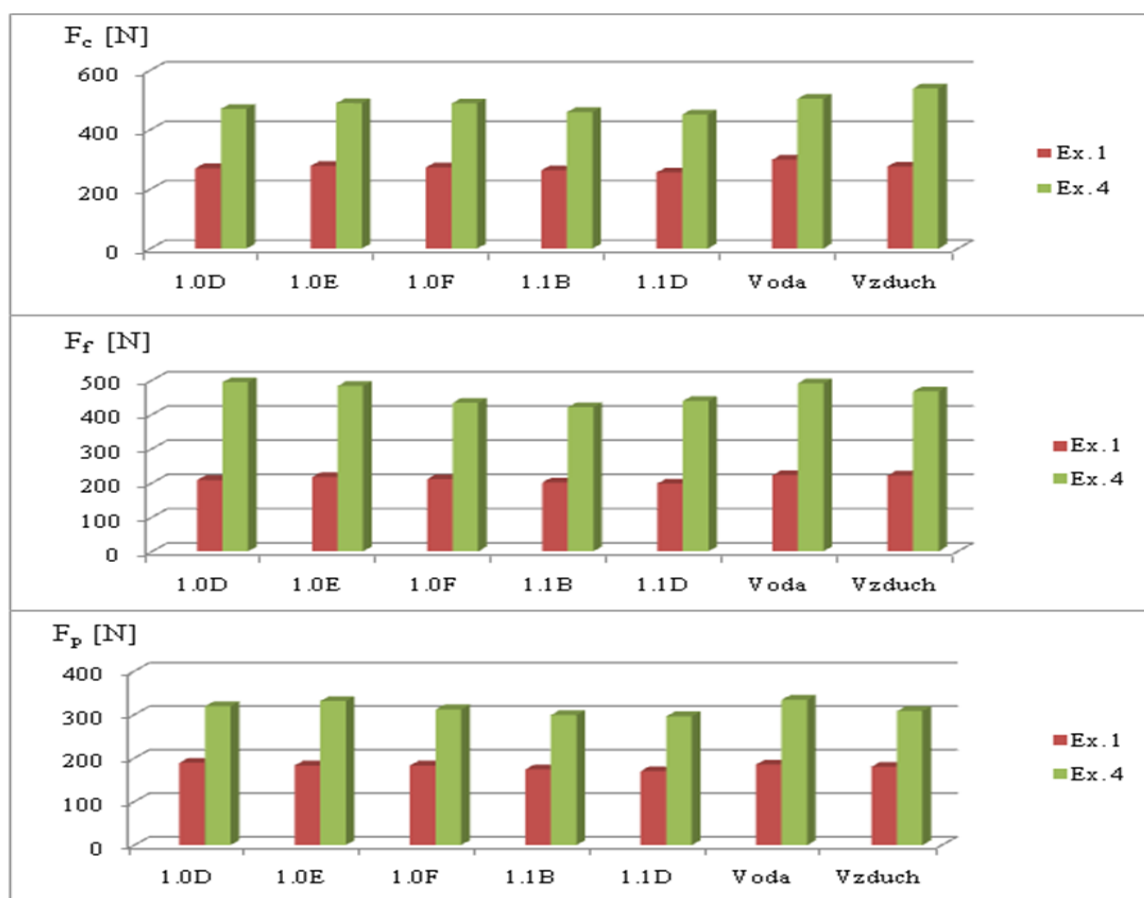
Zkušební vzorek 2 - ocel třídy 14

Z grafu 14 a tabulky 23 nám byla vyhodnocena řezná síla F_c při čelním frézování vykazuje vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při porovnání experimentu 1 s experimentem 4, právě u experimentu 4. Maximální rozdíl byl zaznamenán procesního média - vzduchu, kde rozdíl činil zhruba 49 %. Minimální rozdíl byl zaznamenán u procesní kapaliny 1.0D a činil přibližně 42 %.

Posuvová síla F_f a přísluvová síla F_p vykazují opět vyšší hodnoty u všech procesních prostředí při ex 4.

Složky síly [N]	F_c		F_f		F_p	
Procesní médium	Ex. 1	Ex. 4	Ex. 1	Ex. 4	Ex. 1	Ex. 4
1.0D	270	470	204	494	189	319
1.0E	278	489	212	483	180	331
1.0F	273	488	211	434	183	312
1.1B	263	459	201	409	174	299
1.1D	256	451	195	426	168	296
Voda	299	504	205	491	183	334
Vzduch	276	539	217	467	180	308

Tab. 23 Porovnání max. složek sil ex.1 s ex. 4 u materiálu 14 220.3



Graf 14 Srovnání max. hodnot složek sil při změně hloubky záběru u materiálu 14 220.3

8 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnutí řezných podmínek a vytvoření souboru experimentů pro zjištění vlivu procesního média na velikost složek sil F_c , F_f , F_p při čelním frézování. Dalším úkolem byla realizace a vyhodnocení vlivu procesního média a posouzení vlivu řezných podmínek na velikost složek, při čelním frézování. Při experimentech byly hodnoceny maximální hodnoty řezných sil. Z výsledků experimentů byla vyhodnocena jako nejvýznamnější složkou řezná síla F_c a proto jsme se zaměřily spíše na tuto složku síly.

Pro tuto práci bylo použito 7 procesních médií, z toho 5 procesních kapalin (PARAMO ESOK 1.0D, PARAMO ESOK 1.0E, PARAMO ESOK 1.0F, PARAMO ESOK 1.1B, PARAMO ESOK 1.1D) od firmy PARAMO, a s. a dále procesní médium voda a okolní vzduch. Byly frézovány dva zkušební vzorky. Zkušební vzorek 1 z materiálu 17 420 a zkušební vzorek 2 z materiálu 14 220.3.

Veškeré frézovací operace byly uskutečněny na frézce FA 4AV, obráběcím nástrojem byla čelní fréza 80B05R-S90SP12D s VBD SPET 1204 AD SN.

Vliv procesních médií na čelní frézování byl zkoumán u obou vzorků za těchto řezných podmínek:

- posuv na zub 0,1 [mm], hloubka záběru 0,5 [mm] a řezná rychlost 25,4 [m/min] (experiment 1),
- posuv na zub 0,1 [mm], hloubka záběru 0,5 [mm] a řezná rychlost 50,8 [m/min] (experiment 2),
- posuv na zub 0,2 [mm], hloubka záběru 0,5 [mm] a řezná rychlost 25,4 [m/min] (experiment 3),
- posuv na zub 0,1 [mm], hloubka záběru 1 [mm] a řezná rychlost 25,4 [m/min] (experiment 4).

Z výsledků měření při experimentu 1 ($f_z=0,1$ mm, $a_p=0,5$ mm $v_c=25,4$ m/min) můžeme vyvodit tyto závěry:

Zkušební vzorek 1 - materiál 17 240:

- všechny procesní kapaliny vykazují přibližně stejné velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 1.),
- maximální hodnota řezné síly F_c dosahovala 271 N a byla zaznamenána u procesního média – vody (tab. 7.).

Zkušební vzorek 2 – materiál 14 220.3:

- všechny procesní kapaliny kromě 1.0E vykazují menší velikost řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 2.),
- maximální hodnota řezné síly F_c byla 299 N a byla naměřena u procesního média – vody (tab. 8.).

U experimentu 1 se projevíly nejlepší procesní kapaliny, které vykazují nejnížší řeznou sílu F_c PARAMO ESOK 1.0D a PARAMO ESOK 1.1D. U obou zkušebních vzorků jsme zaznamenaly nejvyšší dosaženou hodnotu ze všech tří složek sil, právě u složky síly F_c (graf 1 a 2).

Při porovnání velikosti maximální řezné síly F_c u oceli třídy 17 (zkušebního vzorku 1) s ocelí třídy 14 (zkušebním vzorkem 2), byla řezná síla F_c vyhodnocena vyšší u zkušebního vzorku 2 (materiál 14 220.3). Rozdíl byl přibližně 10 % z nejvyšší hodnoty.

Z výsledků měření při experimentu 2 ($v_c=50,8$ m/min, $f_z=0,1$ mm, $a_p=0,5$ mm) můžeme vyvodit tyto závěry:

Zkušební vzorek 1 - materiál 17 240:

- všechny procesní kapaliny kromě 1.0E, 1.0F a 1.1B vykazují menší velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 3),
- maximální hodnota řezné síly F_c byla 200 N a byla naměřena u procesní kapaliny 1.0F (tab. 10).

Zkušební vzorek 2 – materiál 14 220.3:

- všechny procesní kapaliny vykazují větší velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 4),
- velikost maximální hodnoty řezné síly F_c činila 242 N a byla naměřena u procesní kapaliny 1.0F (tab. 11).

U experimentu 2 se projevíly jako nejlepší procesní kapaliny, které vykazují nejnížší řeznou sílu F_c PARAMO ESOK 1.1B a PARAMO ESOK 1.1D. U zkušebního vzorku 1 jsme zaznamenaly nejvyšší dosaženou hodnotu ze všech tří složek sil, právě u složky síly F_p (graf 3). Příčinou tohoto výsledku jsou pravděpodobně řezné podmínky experimentu a druh materiálu zkušebního vzorku. U zkušebního vzorku 2 byla zaznamenána nejvyšší dosažená hodnota u složky síly F_c (graf 4).

Při porovnání velikosti maximální řezné síly F_c oceli třídy 17 (zkušební vzorku 1) s ocelí třídy 14 (zkušebním vzorkem 2), byla řezná síla F_c vyhodnocena vyšší u zkušební vzorku 2 (materiál 14 220.3). Rozdíl byl téměř 17 % z nejvyšší hodnoty.

Z výsledků měření při experimentu 3 ($v_c=25,4$ m/min, $f_z=0,2$ mm, $a_p=0,5$ mm) můžeme vyvodit tyto závěry:

Zkušební vzorek 1 - materiál 17 240:

- všechny procesní kapaliny vykazují vyšší velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 5),
- velikost maximální hodnoty řezné síly F_c byla 420 N a byla naměřena u procesní kapaliny 1.0E (tab. 13).

Zkušební vzorek 2 – materiál 14 220.3

- všechny procesní kapaliny kromě 1.0D, 1.0E a 1.0F, vykazují nižší velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 6),
- velikost maximální hodnoty řezné síly F_c byla 409 N a byla naměřena u procesního média – vody (tab. 14).

U experimentu 3 se projeví jako nejlepší procesní kapaliny, které vykazují nejnižší řeznou sílu F_c PARAMO ESOK 1.1B a PARAMO ESOK 1.1D. U obou zkušebních vzorků jsme zaznamenaly nejvyšší dosaženou hodnotu ze všech tří složek sil, právě u složky síly F_c (graf 5 a 6).

Při porovnání velikosti maximální řezné síly F_c oceli třídy 17 (zkušební vzorku 1) s ocelí třídy 14 (zkušebním vzorkem 2), byla řezná síla F_c vyhodnocena vyšší u zkušební vzorku 1 (materiál 17 240). Rozdíl zhruba 3 % z nejvyšší hodnoty.

Z výsledků měření při experimentu 4 ($v_c=25,4$ m/min, $f_z=0,1$ mm, $a_p=1$ mm) můžeme vyvodit tyto závěry:

Zkušební vzorek 1 - materiál 17 240:

- všechny procesní kapaliny vykazují přibližně podobné velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 7),
- velikost maximální hodnoty řezné síly F_c byl 482 N a byla naměřena u procesního média – vody (tab. 16).

Zkušební vzorek 2 – materiál 14 220.3:

- všechny procesní kapaliny vykazují nižší velikosti řezné síly F_c , ve srovnání s procesním médiem – okolním vzduchem (graf 8),
- velikost maximální hodnoty řezné síly F_c byl 589 N a byla naměřena u procesního média – okolním vzduchem (tab. 17)

U experimentu 4 se projeví nejlepší procesní kapaliny, které vykazují nejnižší řeznou sílu PARAMO ESOK 1.0D a PARAMO ESOK 1.1D. U obou zkušebních vzorků jsme zaznamenaly nejvyšší dosaženou hodnotu ze všech tří složek sil, právě u složky síly F_c (graf 7 a 8).

Při porovnání velikosti maximální řezné síly F_c oceli třídy 17 (zkušebního vzorku 1) s ocelí třídy 14 (zkušebním vzorkem 2), byla řezná síla F_c vyhodnocena vyšší u zkušebního vzorku 2 (materiál 14 220.3). Rozdíl byl přibližně 18 % z nejvyšší hodnoty.

Dalším hodnotícím parametrem byl vliv řezných podmínek na velikosti složek řezných sil při čelním frézování při použití procesního média. Hodnocení bylo provedeno u obou zkušebních vzorků a hodnoceny byly tyto řezné podmínky: řezná rychlost v_c , posuv na zub f_z a hloubka záběru a_p .

Vyhodnocení podle řezné rychlosti v_c , kde bylo provedeno porovnání max. velikostí složek sil experimentu 1 ($v_c=25,4$ m/min) s experimentem 2 ($v_c=50,8$ m/min) a je možné vyvodit tento závěr:

- při dvojnásobném zvýšení řezné rychlosti z 25,4 m/min na 50,8 m/min došlo ke snížení řezné síly F_c u obou zkušebních vzorků, které se dá vysvětlit vyšší teplotou v místě řezu a tím se zvýšila plasticita materiálu, která vede ke snížení řezného odporu materiálu (tab. 18 a 19, graf 9 a 10)
- bylo také zjištěno, že při změně řezné rychlosti v_c hodnoty příslušné složky řezné síly F_p se prakticky nezměnily. Změna řezné rychlosti v_c tedy nemá výrazný vliv na příslušnou složku řezné síly F_p .

Vyhodnocení podle posuvu na zub f_z , kde bylo provedeno porovnání max. velikostí složek sil experimentu 1 ($f_z=0,1$ mm) s experimentem 3 ($f_z=0,2$ mm) a je možné vyvodit tento závěr:

- při dvojnásobnému zvýšení posuvu na zub z 0,1 mm na 0,2 mm došlo ke zvýšení řezné síly F_c , které bylo způsobeno větším průřezem třísky, které vede ke zvýšení řezného odporu materiálu (tab. 20 a 21, graf 11 a 12). Hodnota řezné síly F_c se zvýšila skoro dvojnásobně.

Vyhodnocení podle hloubky záběru, kde bylo provedeno porovnání max. velikostí složek sil experimentu 1 ($a_p=0,5$ mm) s experimentem 4 ($a_p=1$ mm) a je možné vyvodit tento závěr:

- při dvojnásobném zvýšení hloubky záběru z 0,5 mm na 1 mm došlo ke zvýšení řezné síly F_c , které bylo způsobeno větším průřezem třísky, které vede ke zvýšení řezného odporu materiálu (tab. 22 a 23, graf 13 a 14)

Procesní kapalina má spíše pozitivní vliv na velikost maximálních složek řezné síly F_c , posuvové síly F_f a přísuvové síly F_p při čelním frézování, jak se potvrdilo výsledky při řešení měření této bakalářské práce. Celkově nejlepší výsledky z hlediska těchto složek sil, byla vyhodnocena nejlepší procesní kapalinou PARAMO ESOK 1.1D.

Tuto práci bych do budoucna rozšířil o další hodnocené parametry, jako jsou například: drsnost povrchu obrobené plochy, zbytkové napětí vzniklé v obrobené ploše po frézování, nastavení dalších řezných podmínek a podobně. Dále by bylo zajímavé zjistit vliv procesních kapalin při frézování válcovém sousledném a nesousledném.

Seznam použité literatury

- [1] VLACH, B. *Technologie obrábění*. 3. vyd. Vydavatelství ČVUT, Praha 1989. 263 s
- [2] DRÁB, Vojtěch. a kolektiv. *Technologie 1*. Liberec: TUL, 1979. [online]. 2013 [cit. 2013-05-12], Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf
- [3] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2004, 290 s. ISBN 80-867-0609-5.
- [4] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, prosinec 2005. ISBN 80-214- 3068-0.
- [5] STRYAL, J. *Vliv procesního média na vlastnosti frézovaného obrobku.* [Bakalářská práce]. Liberec: TU v Liberci, červen 2010. 65 s.
- [6] Frézování rovinných ploch [online]. 2013[cit. 2013-05-12], Dostupné z: <http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>
- [7] GAZDA, Jaromír; aj. *Teorie obrábění : Řezné síly při obrábění*. 1. vyd. Liberec : Ediční středisko VŠST Liberec, 1993. 123 s. ISBN 80-7083-110-3.
- [8] ŠTRAJBL, Jan. *OBRÁBĚCÍ STROJE 1974*. Praha 1: STNL, 1975.
- [9] *Pramet - Katalog obrábění* [online]. 2012[cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/_spolecne/katalog_nastroju_frezovani.pdf